ISSN 0388—9718

BULLETIN OF
NATIONAL RESEARCH INSTITUTE OF
FISHERIES ENGINEERING

No. 4 March 1983

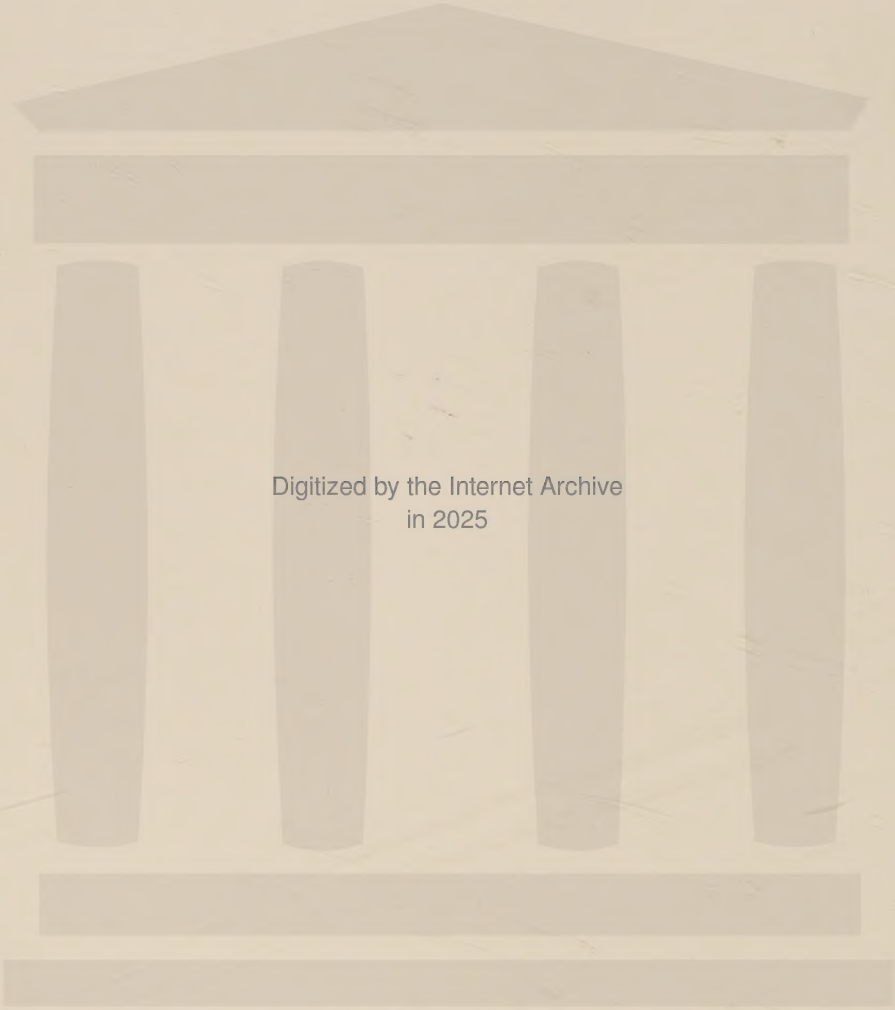
水産工学研究所報告

第 4 号

昭和 58 年 3 月

LIBRARY
JUL 1 1 1983
National Marine Fisheries Service
2570 Dole Street
Honolulu, Hawaii

水 産 庁
水 産 工 学 研 究 所
NATIONAL RESEARCH INSTITUTE OF
FISHERIES ENGINEERING
FISHERIES AGENCY


Digitized by the Internet Archive
in 2025

https://archive.org/details/bulletin-of-national-research-institute-of-fisheries_1983-03_4

水産工学研究所報告　第4号

目　　次

砂浜浅海域における底質環境とマクロベントスの分布に関する一考察……安永　義暢…… 1

後流中の物質分散に関する研究　Ⅱ……杜多　哲……43
——矩形構造物の高さ・流速を変えた場合の交換率の変化——

人工魚礁の着底衝撃力に関する研究（Ⅱ）……秀島　好昭……59
——岩盤・コンクリート基盤での着底——　上北　征男

異方圧密土の破壊強度特性……大槻　正紀……73

複数直列生簀の抵抗軽減のための一つの試み……川島　敏彦……87
——剛体カバーと生簀の干渉効果を利用して——　小林　務
有路　実

漁船機関における乳化燃料の使用について—Ⅱ……小田　健一……99
——乳化燃料が機関部品に及ぼす影響——　山田　敏夫

FRP 漁船の制振材の選定について……久保　敏… 107
——漁船機関の発生する振動の低減について——

海洋データ収集ブイについて……今成　栄一… 115
池田　昭男

魚体反射及び魚群減衰測定用プログラマブル多周波受送信装置……石井　憲… 135
古沢　昌彦
宮野鼻洋一

ベーリング海におけるマスノスケ混獲防止トロール漁具実験結果……小山　武夫… 163
川島　敏彦

船底防汚塗料別による生物付着の状況調査（第1報）……林　一朗… 173
今島　実

平面網地の流水抵抗に関する研究　Ⅱ……大沢　要一… 183
——蛙又結節，貫通式無結節および　田原　陽三
ラッセル平面網地の流水抵抗測定結果について——　森　敬四郎

スキャンニングソナーによる定置網漁場の魚群行動調査—Ⅰ……田原　陽三… 197
——小八幡漁場，江ノ浦漁場に於ける魚群行動——　井上　喜洋
森　敬四郎

鮪延縄の摩擦係数とラインホーラーの揚縄張力……下崎　吉矩… 221
藤井　慶一
武富　一

BULETLIN OF
NATIONAL RESEARCH INSTITUTE OF
FISHERIES ENGINEERING

No. 4

Contents

Yoshinobu YASUNAGA
A Consideration of the Bottom Conditon and Macro Benthos Fauna in the Shallow Water of Sandy Beach 1

Satoru TODA
On the Characteristics of Water Exchange in the Wake (II)
——Non Dimensional Expression of the Coefficient of Exchange—— 43

Yoshiaki HIDESHIMA and Yukio UEKITA
Study on the Impact Force to the Artificial Fish Scheme colliding with the Sea Bottom (II)
——In case of the Rock Sea Bottom—— 59

Seiki OHMAKI
A Failure Criterion of Anisotropic Soil 73

Toshihiko KAWASHIMA, Tsutomu KOBAYASHI and Minoru ARIJI
Resistance Reduction of the Net Preserves by Ligid Cover 87

Ken'ichi ODA and Toshio YAMADA
Burning of Oil/Water Emulsified Fuel on Fishing Boat Engine (Part Ⅱ).....99

Satoshi KUBO
Report on the the Sandwich Type GFRP Board as a Damping Material··· 107

Eiichi IMANARI and Akio IKEDA
Study on Driffing-type Data Collection Buoy..... 115

Ken ISHII, Masahiko FURUSAWA and Yoichi MIYANOHANA
The Design of Programmable Multi-frequency Transmitter-receriver for Measurements of Target Strength of Fish and Attenuation of sound by Schooling Fish..... 135

Takeo KOYAMA and Toshihiko KAWASHIMA
Result of Experiments of Modified Trawl Gear for Reducing Incidental Catches of Chinook Salmon 163

Ichiro HAYASHI and Minoru IMAJIMA
Investigations on the Fouling Organisms for Four Kinds of Bottom Anti-fouling Paints (Part 1)..... 173

Yoichi OSAWA, Yozo TAWARA and Keishiro MORI
Studies on Resistance of Plain Net against Flow of Water Ⅱ
——On Result of Experiment on Drag Coefficients and Lift Coefficients of Trawler Knot Nets, Knotless Nets and Raschel Nets—— 183

Yozo TAWARA, Yoshihiro INOUE and Keishiro MORI
Studies on Fish Behavior with Scanning Sonar around Set Nets— I
——Observing Fish Behavior in Koyawata and Enoura Fishing Grounds in Sagami Bay—— 197

Yoshinori SHIMOZAKI, Keiichi FUJII and Hajime TAKETOMI
On the Coefficient of Friction, and the Frictional Force between a Main-line and the Rollers of a Line-hauller..... 221

水工研報告 4
1983 pp. 1~41

砂浜浅海域における底質環境とマクロベントスの分布に関する一考察

安永義暢*

目　次

1. 緒　言…… 1
2. 方　法…… 1
2.1 調査概要 …… 1
2.2 調査項目 …… 2
3. 結　果…… 2
4. 考　察…… 7
5. 結　語……10

1. 緒　言

内湾域での埋立て，汚染の進行，あるいは未利用水域の開発と言った点から，近年各地の砂浜海岸でおもに二枚貝，ヒラメ・カレイ類を対象とした増殖場造成が計画され，事業化が進められている。砂浜海岸，とくに外海性（非閉鎖性）砂浜域においては波浪流，潮汐流によって生物の分布，生残は直接，間接に大きな影響を受けるものと考えられる。

増殖場造成に関しても離岸堤をはじめとする構築物によって水理環境を制御し，対象生物の生産量を増大させようとする方法が試みられている。他方，水理条件が変化した場合には同時に底質環境も変化し，対象水域の生物群集構造全体に変化が生じ得ることを考慮する必要がある。

今後とも砂浜浅海域，あるいは沖合砂底域を対象として魚貝類その他の幼生の沈着，餌生物の集積を意図する漁場・増殖場造成の進められることが予想される。これらの事業を有効に進めるには，離岸堤その他の構築物の設置によって生じ得る水理，底質等の物理化学環境の変化，また，それらに伴う生物環境の変化を事前に十分検討し，対象生物の発生，生残，成長に有利な環境改変を計ることが肝要であろう。

しかし，現状では以上の諸検討事項の基礎となるべき砂浜域の環境調査は必らずしも十分ではなく，対象とする生物を増殖場造成，あるいは種苗の放流によってどの程度増産し得るかを予測することは困難である。

今回，砂浜域の環境調査の一環として，同域の底質条件とマクロベントス（以降単にベントス）を対象に調査を行い，両者の関係について検討を加え，若干の知見を得たので報告する。

* 水産土木工学部

2. 方　法

2.1 調査概要

2.1.1 調査対象水域

新潟県新潟市の五十嵐浜を調査対象水域とした。同水域は信濃川河口から西方約10～15 km に位置し，海底勾配1/50程度の外海性砂浜域である。

本海岸には二級河川新川が流れ込んでいるが，同河川水は泥分が主体と考えられる濁り成分が多く，調査水域，とくに河口周辺水域の底質およびベントスは多分に影響を受けていることが予想された。そこで，調査水域を河口部から左右 600 m，水深 6 m 線で囲まれる河口周辺部分に該当する水域Ⅰ，および同水域の西側に隣接し，河口から 600～1,200 m，水深 10 m 線で囲まれる水域Ⅱとに分けて比較検討することとした。

なお，両水域とも河口から 200 m 間隔の海岸への垂直線と 2 m ごとの水深線とからなる小区画を設定し，各区画に水域Ⅰでは 1～19，水域Ⅱでは 1～15までのステーション・ナンバーを割りふった（図 1）。

表 1　水域別の調査年月日
Research date in the research area I and II.

調査回数＼水域	Ⅰ	Ⅱ
第 1 回	1976年 9 月 2 日	1977年 7 月31日
第 2 回	1977年 3 月27日	1977年 9 月13日
第 3 回	1977年 5 月25日	1977年11月 8 日

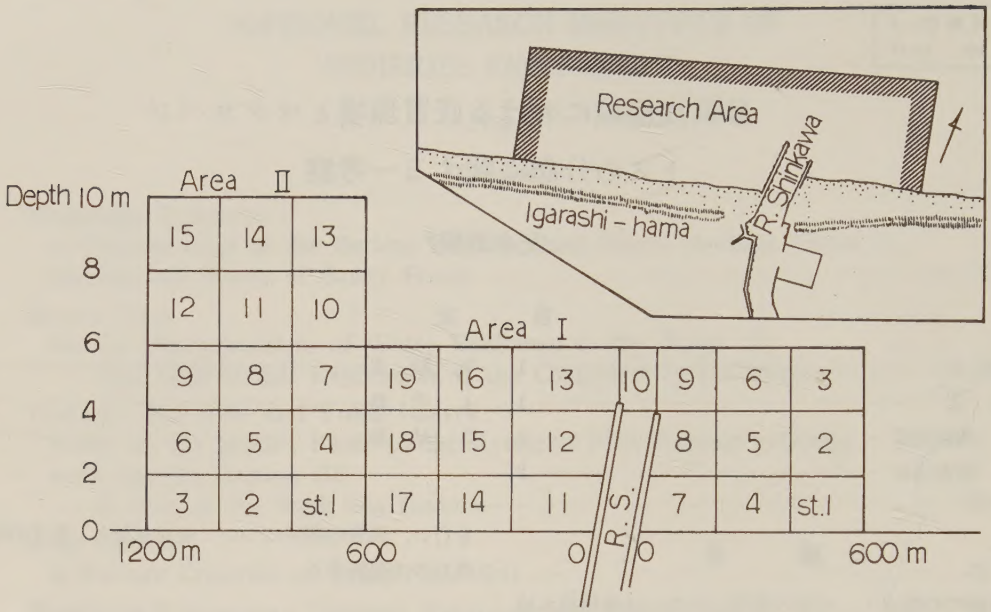


図 1　調査水域Ⅰ，Ⅱと各水域の区画を示す
Division number of the research area I and II.

2.1.2　調査時期・回数

水域Ⅰについては1976年9月，1977年3月および5月の計3回，水域Ⅱについては1977年7月，9月，11月の同じく3回の調査を行った（表1）。

2.1.3　調査方法

底質採集には港研式採泥機（採集面積 1/30 m²）を用いた。採集は調査水域内に設定された区画ごと，区画中央部を中心に2～3回を基準として行った。また，採集時の区画の確認は測距儀によって河口からの距離を求め，200 m ごとに海面に設置した旗竿と，測深器で求めた水深とを基準として行った。

次いで採集した砂泥は 200 g 相当を底質分析用，残りをベントス選別用として速やかに測定に供した。なお，底質分析用砂泥は乾燥機にて 110 ℃ で6時間乾燥後各種の測定に用いた。また，ベントスの選別は水面上で目合い 1 mm の篩を用いて行った。

2.1.4　測定項目

採集したサンプルをもとに測定した項目は底質に関しては中央粒径値その他の7項目，ベントスに関しては種組成その他の4項目の合計11項目である（表2）。

項目ごとの測定結果は概ね以下の通りであった。

3.　結　　果

3.1　底　　質

a．水域Ⅰ

表 2　底質およびベントスに関する測定項目
Measurement items of the bottom sand and the benthos.

（測定項目）			（備　考）
底質	粒度（乾式法）	中央粒径値	
		泥分	…メッシュ 150 の篩を通過した成分
		淘汰度	
		均等係数	
	強熱減量		……500℃, 6 時間
	C N 値		……CN コーダーにより分析
ベントス	種組成		
	分布密度		
	多様度指数		
	類似度指数		

各項目全般に調査月で変動し，とくに第2回は他の2回の調査と異なる傾向が見られた。

・中央粒径値……全区画の測定値を平均した水域平均値は調査月で変化が著しく，とくに第2回は大幅に値が増加して他の2回との間に有意差が認められた。また，区画ごとの値についても調査月で変動が大きく，河口との距離，水深に関する明瞭な変化傾向は見られなかった（付図1）。

・泥　分……中央粒径値と同様水域平均値は調査月で変動し，第2回の値が小さくなっている。また区画

ごとの月別変動も大きい。河口との位置関係に関しても明確な変化傾向は見られず，たとえば第1回の *st* 13，第3回の *st* 9 のように局部的に高い値が示された（付図2）。

・淘汰度……中央粒径値，泥分の場合ほどでないが水域平均値は同様に調査月で変動し，第2回が増加している。区画ごとの値についても調査月で変動が大きい（付図3）。

・均等係数……水域平均値は上記3項目とはやや異なり，第1回から第3回まで漸増している。区画ごとの値は調査月で変動が大きい（付図4）。

・強熱減量……第3回の調査時のみ測定した。区画別の値に関しては *st* 12 で 2.8％ と高かったものの他の区画ではほぼ 0.9～1.6％ の値が示された。河口との位置関係では河口周辺部の *st* 9，10，12，13，および逆に河口部から離れた *st* 17，18，19 の区画で高い値が示された（付図5）。

・*CN* 値……第2回の調査時のみ測定した。区画別の値に関し，まず *C* 値は *st* 12 で 1.76 mg/g と高かったほかは 0.9～1.3 mg/g の値が示された。

N 値は *C* 値のほぼ1/10程度で，*C* 値と同じく *st* 12 の 0.16 mg/g を最大とした。他の区画は 0.09～0.14 mg/g 全般的に変化は小さかった（付図6）。

b．水域Ⅱ

水域Ⅰと比較して調査月による各項目の変動は小さい。区画別の比較では各項目とも水深の変化に伴って変動する傾向が見られた。

・中央粒径値……調査月による水域平均値の変動は小さく，各月の間に有意差は認められない。区画間の比較では水深の大きい区画で値の小さくなる傾向が見られた（付図1）。

・泥　　分……中央粒径値と同様調査月による水域平均値の変動は少なく，また，区画間の比較においては水深の大きい区画で高い値が示された（付図2）。

・淘　汰　度……各調査月の水域平均値は第2回がやや大きい程度で変動の幅は小さい。区画間の比較では上記2項目の場合ほど水深との関係は明瞭ではなかった。（付図3）。

・均等係数……各調査月の水域平均値の変動は上記各項目と同様小さい。区画間の比較では水深の大きい区画で増加する傾向が見られた（付図4）。

・強熱減量……水域平均値は小幅ながら調査月で変動し，第2回の 1.65％ がやゝ高かった。ただし，第2回の値が高かったのは *st* 9 の区画が 5.96％ と特異的に高かったことに起因しており，この区画を除けば平均値は 1.35％ で 1，3回の平均値とほとんど差はない。

区画間の比較では各調査月とも水深の大きい区画で高くなる傾向が見られた（付図5）。

・*CN* 値……第3回の調査時のみ測定した。*C* 値は 0.9～1.8 mg/g，水域平均値 1.20 mg/g で水域Ⅰよりもやや大きい値が示された。

N 値は水域Ⅰと同じく *C* 値の1/10程度で 0.09～0.17 mg/g の間で変化するが，*C* 値の場合ほど水深との関係は明瞭ではなかった（付図6）。

3.2　底質各項目間の相関

底質各項目間の関連性を調べるため各区画各項目の測定値について直線回帰による相関係数を求めた[1)2)]。ただし，水域Ⅰ，Ⅱともに底質全項目が測定された第3回の調査を対象とした。

a．水域Ⅰ

中央粒径値×淘汰度，泥分×均等係数，強熱減量×*C*＋*N* 値，強熱減量×*C* 値，*C* 値×*N* 値，などに関し，0.7 以上の高い正の相関が認められた。また，強熱減量×*N* 値，0.4～0.7 の中程度に属する正の相関が見られた。

また，中央粒径値×*N* 値，中央粒径値×泥分，淘汰度×*N* 値，などの間に－0.4～－0.7 の中程度に属する負の相関が認められた（表3）。

b．水域Ⅱ

泥分×淘汰度，の間に 0.7 以上の高い正の相関が，泥分×*C* 値・*N* 値・*C*＋*N* 値・均等係数，淘汰度×*C* 値・*C*＋*N* 値，均等係数×*C* 値・*N* 値・*C*＋*N* 値，強熱減量×*C* 値・*C*＋*N* 値，*C* 値×*N* 値，などの間に 0.4～0.7 の中程度の正の相関が認められた。

また，中央粒径値×淘汰度・泥分の間に －0.7 以上の高い負の相関が，中央粒径値×*C* 値・*N* 値・*C*＋*N* 値，などの間に－0.4～－0.7 の中程度の負の相関が認められた（表4）。

3.3　ベントス

3.3.1　種組成および Biotic Index

a．水域Ⅰ

全調査を通じての種類数は52種，個体は 3,165 個体であった。ただし，種類数，個体数ともに調査月による変動が大きく，第3回が最大で44種 2,386 個体，第2回が最小で17種252個体であった。

優占動物は各調査月とも節足動物甲殻類で，全調査を合計すると種類数は 19 種で採集全ベントス中の 36.5％ 個体数は 2,465 個体で同じく 77.9％ を占めた。また，甲殻類のうちでは端脚目が優占し，全調査合計で種類数では11種 57.9％，個体数 1,928 個体で 78.2％ を占め

表 3 水域Ⅰにおける底質各項目の間の相関係数
第3回（1977年5月）

Correlation coefficient matrix between each measurement items of the bottom sand in the research area I.

中央粒径値								
泥　分	−0.593							
淘汰度	0.784	−0.232						
均等係数	0.015	0.766	0.264					
強熱減量	−0.073	0.153	0.046	0.097				
C値	−0.080	0.282	0.174	0.200	0.839			
N値	−0.560	0.359	−0.454	−0.013	0.662	0.705		
C＋N値	−0.129	0.297	0.118	0.185	0.844			
	中央粒径値	泥　分	淘汰度	均等係数	強熱減量	C値	N値	C＋N値

表 4 水域Ⅱにおける底質項目の間の相関係数
第3回（1977年11月）

Correlation coefficient matrix between eaeh measurement items of the bottom sand in the research area II. Novemer. 1977

中央粒径値								
泥　分	−0.941							
淘汰度	−0.805	0.950						
均等係数	−0.358	0.424	0.380					
強熱減量	−0.157	0.180	0.137	0.188				
C値	−0.536	0.620	0.542	0.623	0.568			
N値	−0.440	0.477	0.370	0.526	0.332	0.664		
C＋N値	−0.544	0.625	0.541	0.634	0.560			
	中央粒径値	泥　分	淘汰度	均等係数	強熱減量	C値	N値	C＋N値

た。

端脚目のほかにはクマ目が多く，2種，488個体，また，等脚目2種31個体がこれに次いだ。ただし，クマ目では *Hemilanprops californica* が第3回の調査で480個体と特異的に多く出現した。

節足動物以外では環形動物多毛類が16種242個体で多く，以下軟体動物斧足類の7種158個体，棘皮動物海膽類の1種252個体，軟体動物腹足類の5種29個体が次いだ。

Biotic Index は第1回が16.0，第2回が14.8，第3回が54.2，平均28.3で，第3回が甲殻類端脚目と同クマ目の個体数の増加によって大き値となっている。なお，全調査合計では60.87であった（図2，付表1）。

b．水域Ⅱ

全調査を通じての種類数，個体数は71種，1,847個体であった。調査月による変動は水域Ⅰに比較すれば小さく，種類数では第2回が最大で49種，第3回が最小で39種であった。個体数では第1回が最大で1,015個体，第3回が最小で371個体であった。

全調査合計での優占動物は環形動物多毛類で全ベントス中種類数37種 52.1％，個体数 1,308 個体 70.8％ を占めた。

多毛類以外では軟体動物斧足類が9種298個体と多く，以下節足動物甲殻類の12種105個体，棘皮動物海膽

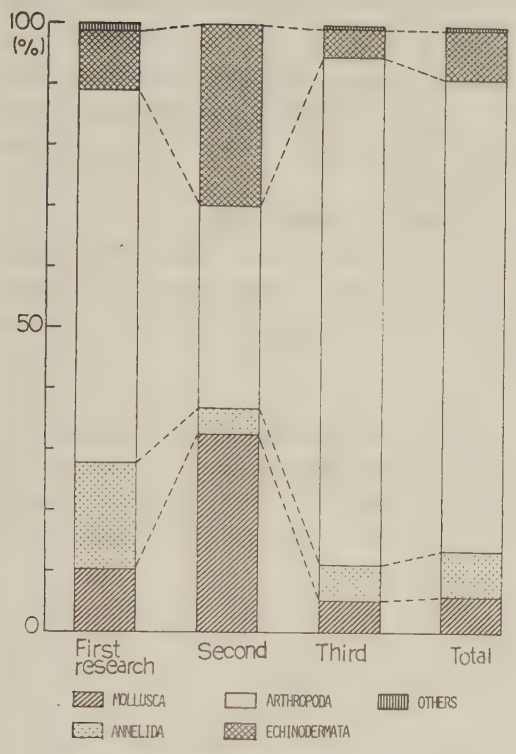


図 2　水域Ⅰにおける各調査時のマクロベントス各類採集個体数の比率

Ratio of number of each kind of macro benthos collected in the research area I.

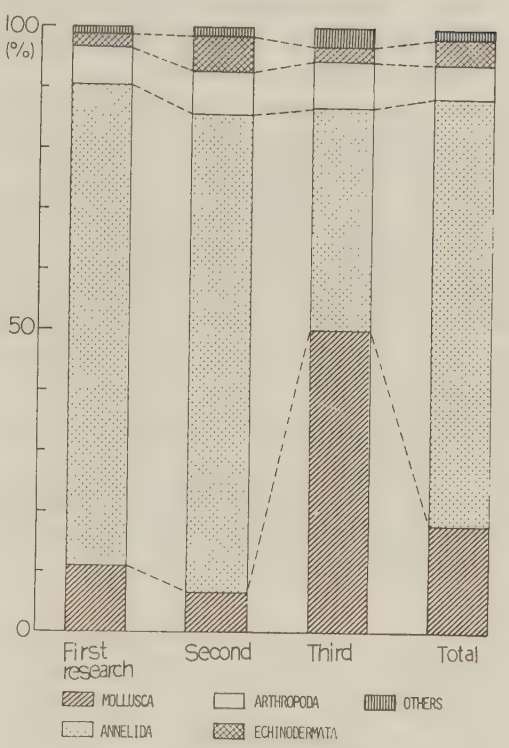


図 3　水域Ⅱにおける各調査時のマクロベントス各類採集個体数の比率

Ratio of number of each kind of macro benthos collected in the research area II.

類の1種68個体，軟体動物腹足類の6種30個体がこれに次いだ。

Biotic Index は水域Ⅰと比較してやや小さく，第1回が最大で 22.1，第2回，第3回は減少して各 9.4，9.5 で平均 13.67 であった。また，全調査合計では 26.01 で水域Ⅰの約半分であった（図3，付表2）。

3.3.2　分布密度

調査水域内のベントス各類の分布量，分布傾向を知るため，各調査月の区画ごとの分布密度を綱または目レベルまで求めた。

a．水域Ⅰ

・軟体動物……底質での場合と同様，各調査月における全区画の値から求めた水域平均値は第1回が 42.6 個体/m²，第2回が 64.3 個体/m²，第3回が 40.3 個体/m² で変動は少ない。

区画間の比較では第1回の *st* 19，第2回の *st* 12，15，19 に斧足類を主体とする 300 個体/m² 前後の高い値が出現した。ただし，腹足類，斧足類ともに調査月による変動が大きく，河口との距離，あるいは水深に関係する明瞭な変化傾向は見られなかった。

なお，腹足類と斧足類の比較では各調査月とも後者の水域内平均値が高く，全調査を通じた平均で前者の約 5.5 倍であった（付図7・8・9）。

・環形動物……水域平均値は第3回の 109.7 個体/m² を最大，第2回の 8.7 個体/m² を最小として変動が大きい。

一方，区画間の比較では第1回の *st* 6，7，18 で遊泳目を主体とする100～400 個体/m² 前後の，また，第3回の *st* 9 で定在目を主体とする 1,185 個体/m² と言った高い値が示された。ただし，軟体動物と同様，各区画とも調査月による変動が大きく，河口との距離，水深とに関する分布傾向は見られなかった（付図10・11・12）。

・節足動物……水域平均値は第2回の 66.3 個体/m² から第3回の 1,442.4 個体/m² まで調査月によって大きく変動していた。区画間の比較では第1回の *st* 2，3，5，18 で端脚目を主体とする 500～1,000 個体/m² 前後の高い値が示された。また，第3回は *st* 3，9 を除き全区画とも 100 個体/m² 以上の高い値が示された。これは端脚目とともにクマ目の出現数の大きかった点に起因している。

たとえば，*st* 1 の 1,410 個体/m² 中 1,020 個体/m²，*st* 4 の 3,480 個体/m² 中 2,895 個体/m²，*st* 11 の 3,810 個体/m² 中 2,130 個体/m² をクマ目が占めている。

河口からの距離との関係は不明瞭であるが，第1回～第3回の平均値で見た場合，水深の大きい区画で値が小さくなる傾向が見られた（付図13・14・15・16）。

・棘皮動物……水域平均値は第1回の 40.3 個体/m²，第3回の 100.3 個体/m² まで漸増している。区画間の比較では第1回，*st* 1 の705 個体/m²，第2回，*st* 10 の 420 個体/m²，第3回，*st* 5 の 570 個体/m²，のように海膽類を主体として局部的に高い値の示される傾向が見られた。

河口との距離，水深に関する分布傾向は明らかではなかった（付図17・18・19）。

・その他の動物……袋形動物線虫類・星口動物星虫類が第1回および第3回の調査時に出現しているが，水域平均値はいずれも1桁であり，分布量は少ない（付図20・21）。

・全ベントス……水域平均値は第2回の 198.9 個体/m² を最小とし，第3回の 1883.7 個体/m² を最大として大きく変動した。区画間の比較では調査月による変動が大きく，河口との距離，水深との関係での分布傾向は不明瞭であった（付図22）。

b．水域Ⅱ

・軟体動物……斧足類を主体とし，水域平均値は第2回の 30.0 個体/m² を最小，第3回の 186.0 個体/m² を最大として変動した。区画間の比較では水深の大きい区画で高い値の示される傾向が見られた（付図7・8・9）

・環形動物……水域平均値は第1回の 677.7 個体/m² から第3回の 136.0 個体/m² へと漸減した。区画間の比較では水深の小さい区画で低い値が，水深が中程度から大きい区画で高い値が示されている。この傾向は遊泳目，定在目ともにほぼ共通して認められた（付図10・11・12）。

・節足動物……端脚目を主体とし，水域平均値は第1回の 58.7 個体/m² から第3回の 10.0 個体/m² へと環形動物と同様，漸減している。区画間の比較では環形動物と反対に水深の小さい区画で高い値が示された（付図13・14・15・16）。

・棘皮動物……水域平均値は 15.7～27.0 個体/m² で調査月による変動は小さい。区画間の比較では海膽類が水深の小さい区画で高い値を，蛇尾類が逆に水深の大きい区画で高い値を示す傾向が見られた（付図17・18・19）。

・その他の動物……星口動物星虫類が毎調査時出現しているが，水域平均値は 3.0～12.0 個体/m² で分布量は小さい（付図21）。

・全ベントス……水域平均値は第1回の 881.0 個体/m² から第3回の 371.0 個体/m² まで漸減した。区画別の比較では水深が中程度から大きい区画で高い値が示された（付図22）。

3.3.3 各動物間の分布密度の相関

各動物間の分布関係を知るため主要出現動物である軟体，環形，節足，棘皮の各動物を対象とし，各区画各動物の分布密度について直線回帰による相関係数を求めた。

a．水域Ⅰ

第3回の環形動物×棘皮動物で 0.4～0.7 に入る中程度の正の相関，軟体動物×節足動物で －0.4～－0.7 の中程度の負の相関が認められたが，第1回から第3回の平均では各関係とも －0.3～0.2 であり，相関性は小さかった（付表3）。

b．水域Ⅱ

第1回の軟体動物×環形動物，第2回の軟体動物×節足動物で中程度の正の相関が，第3回の環形動物×棘皮動物で同じく中程度の負の相関が認められたが，水域Ⅰと同様，第1回から第3回の平均では各関係とも －0.3～0.3 で相関性は小さかった（付表4）。

3.3.4 多様度指数

a．水域Ⅰ

水域平均値は第1回，第2回がそれぞれ 2.785，2.360 であったのに対し，第3回は 3.512 でやや増大している。区画別の比較では第1回の *st* 6，第2回の *st* 2，第3回の *st* 9，10，13 などにおいて 5.0 以上の高い値が示された。とくに第3回の *st* 9 では 8.929，*st* 11 では 11.805 と極めて高い値が示された。しかしながら，各区画とも全般的に調査月による変動が大きく，河口との距離，あるいは水深との関連は明らかではなかった（付図23）。

b．水域Ⅱ

水域平均値は第2回の 5.255 が最大，第1回の 4.550 が最小，平均 4.804 で水域Ⅰと比較してやや大きい値が示されている。区画間の比較では全般的に水深の大きい区画で高まる傾向が見られた（付図23）。

3.3.5 類似度指数

調査水域内各区画間のベントス組成の類似性を調べるために各水域，各調査月について森下の類似度指数 C_λ を求めた[3)4)]。

a．水域Ⅰ

第1回，第2回は全般的に値が小さく，区画間の関連

性は不明瞭であった。第3回は前2回と比較して値が高くなる傾向があり，概括的には *st* 7～9を境界域として *st* 1～6，*st* 1～6×*st* 10～19，および *st* 10～19の3つのブロック内に類似性の高さが認められた（図4）。

b．水域Ⅱ

第1回では *st* 3×*st* 5～7，*st* 5～7，*st* 5～7×*st* 9，および *st* 10～15 の4つのブロック内に類似性の高さが認められた。

第2回は全般的に値が小さく，区画間の関係は不明瞭であった。第3回では前2回と比較して区画間にまとまりが見られ，*st* 1～6，および *st* 8～15の2つのブロック内に類似性が認められた（図5）。

3.4 底質とベントス分布密度の相関

底質とベントスの分布との関連性を知るため，各調査月各区画の底質測定値とベントス分布密度との相関係数を直線回帰によって綱または目レベルまで求めた。

a．水域Ⅰ

第2回の中央粒径値×斧足類で0.8以上の強い正の相関が認められたものの，そのほかは±0.4～±0.6の中程度か，それ以下の弱い相関に属し，全般に底質各項目とベントス各類の分布密度との関連性は不明確であった。

ただし，第3回に限って見れば，多毛類は対中央粒径値を除く他の項目との間では正の相関を示す傾向が認められた（付表5）。

b．水域Ⅱ

水域Ⅰと比較して全般的に値が大きくなっている。ベントス中多毛類は遊在目と定在目で多少の相違はあるが各調査を通じ，中央粒径値に関しては中程度からやや強い負の相関を，また，均等係数を除く他の各項目に対して正の相関を示した。とくに第1回の遊在目×強熱減量，第2回の定在目×強熱減量では強い相関性が示された。

甲殻類端脚目および棘皮動物海膽類は多毛類とは対象的な傾向を見せ，概して中央粒径値に関しては正の相関を，強熱減量以外の他の各項目に関しては負の相関を示した。

なお，棘皮動物の蛇尾類は3回の調査を通じた平均分布密度に関してではあるが，強熱減量を除く他の項目に関し，同じ棘皮動物の海膽類とほぼ正反対の相関を示した。

また，全マクロベントスでは各調査月とも中央粒径値に関しては負の相関が，その他の項目に関しては正の相関を示す傾向が顕著であった。とくに第2回の強熱減量に関しては強い相関が示されている。

その他，軟体動物，多様度指数に関しては調査月による変動が大きく，底質各項目との関連性は上記各ベントス類とくらべれば不明確であった（付表6）。

4. 考　　察

4.1 底　　質

水域Ⅰと水域Ⅱの底質の相違を比較することは両水域の調査時期が異なるため困難である。ただし，水域Ⅱの第1回，水域Ⅱの第2回の調査がいずれも9月に行なわれていることから年間での変動を一応無視するとすれば，両水域の同一時期での底質の比較検討がある程度可能と考えられる。

両水域で9月期共通して測定された中央粒径値，泥分，淘汰度，均等係数に関する各水域の水域平均値および標準偏差をもとに平均値の差の検定を行った。

まず，中央粒径値については水域Ⅱが19区画で 155.0±35.0 水域Ⅱが15区画で 143.0±30.0 であったところから，$T=1.025$となる。自由度19+15−2=32, $t_{32}(0.05)=2.040$ より，有意水準 0.05 では両水域の間に有意差は認められないことになる。

同様に泥分においては $T=1.213$, 分散に有意差のある淘汰度においては近似法検定により $T'=0.966$，均等係数においては $T'=2.928$，となり，泥分については有意差は認められないが，淘汰度，均等係数については有意差が認められる。

以上の結果から水域ⅠとⅡの比較に関し，水域全体としては底質は水域Ⅰの方がやや粗いが均質的であるのに対し，水域Ⅱでは泥分を多く含んでいるため細かいが不均一であるということができよう。

一方，調査月による各項目の水域平均値の変動，区画間の変化は水域Ⅰの方が顕著である。この理由としては，(1)水域Ⅱでは1977年7月～11月までの約4カ月内で調査が行なわれたのに対し，水域Ⅰでは1976年9月～1977年5月までの約8カ月に渡って調査されたため，底質の変化が大きい，(2)水域Ⅰは河口周辺部であるため河川流，あるいは河川流と海流双方の複合的影響を受けて，周年定常的に底質の変化が著しい，の2点が一応考えられる。

これら2点についても両水域の調査月が異なるため厳密な検討は困難である。ただし，水域Ⅰにおいては冬季波浪の影響が弱まったとみなし得る第2回（3月）および第3回（5月）の約2カ月間で中央粒径値，泥分の平均値がそれぞれ 216.6→160.0 μ，2.82 %→7.45 % と大幅に変化していることから(2)の方に主たる理由を求めるのが妥当と考えられる。

一方，水域Ⅰと比較して水域Ⅱは安定した底質状態にあることが窺える。たとえば，泥分は水深 6～10 m に

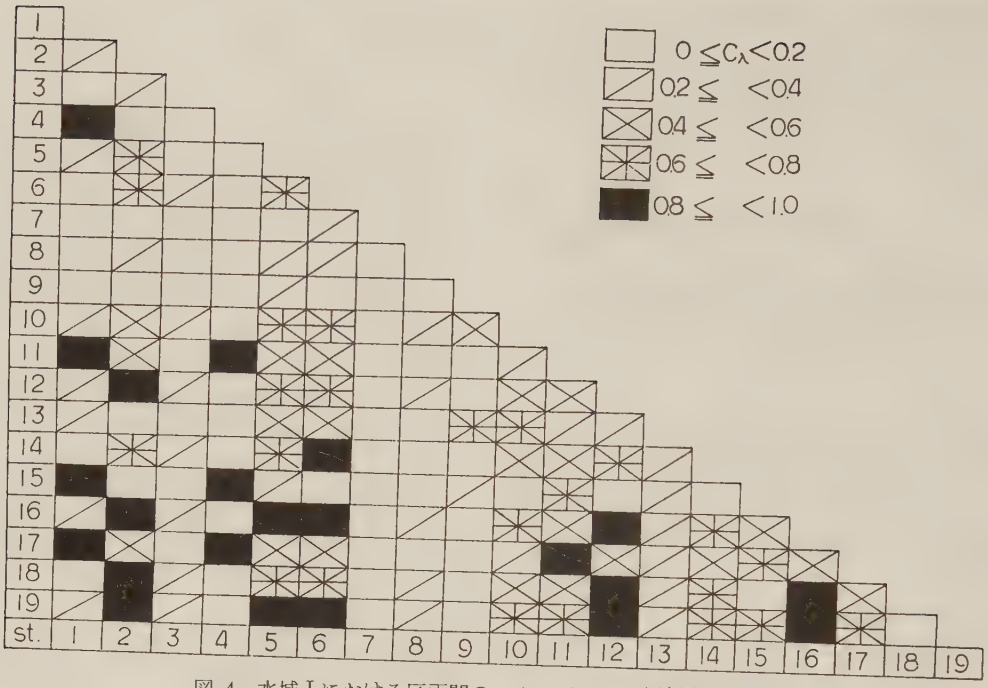


図 4 水域Ⅰにおける区画間のマクロベントス類似度指数 C_λ
第3回 (1977年5月)
Similarity matrix of total macro benthos between each division of the research area I. May 1977

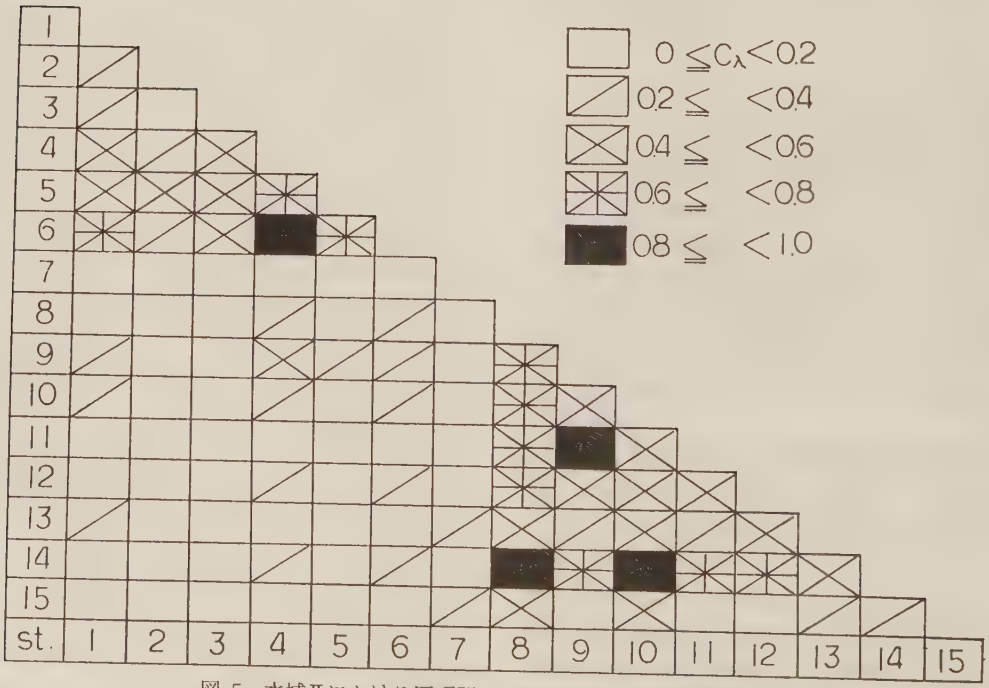


図 5 水域Ⅱにおける区画間のマクロベントス類似度指数 C_λ
第3回 (1977年11月)
Similarity matrix of total macro benthos between each division of the research area II. November, 1977

堆積し，水深 4 m 以浅の水深部では砂粒の均質化の進んでいる傾向が淘汰度，均等係数から明らかである。

一般に非閉鎖型海域においては浅所より 10 m 以深に沈澱物の蓄積の生じ易いことが知られている[5]。この現象は浅所ほど波浪流，潮汐流の影響を強く受けることに起因すると考えられる。したがって，非閉鎖型海域に属する本調査水域においても，河川からの流出を主体とするであろう泥分その他の沈澱物が 6～10 m に堆積することは上記一般的傾向に帰結する。

換言すれば，水域Ⅰ，Ⅱにおける調査月，あるいは区画の底質の異同は各水域での河川水の分散を含む流況の異同を間接的に表わしているとも言えよう。

底質各項目の相関は淘汰度，均等係数を除けば水域Ⅰ，Ⅱともほぼ同様の傾向を示している。たとえば，泥分—強熱減量—*CN* 値の間には水域Ⅰ，Ⅱとも低位から中位ではあるが正の相関が認められた。この点は内湾域に限らず，外海性の砂浜域においても泥分の堆積がデトリタスその他の有機物の貯留を伴なうことを示していよう[6]。

他方，淘汰度・均等係数—中央粒径値に関しては水域ⅠとⅡでは逆の傾向が示されている。淘汰度×中央粒径値では水域Ⅰが +0.784，水域Ⅱが −0.805 である。この結果から見れば，水域Ⅰでは中央粒径値が大きくなるにつれ淘汰度が大きくなる，即ち，粒径の均一性が乏しくなり，逆に水域Ⅱでは中央粒径値が大きくなるにつれ，均一性が増すことになる。

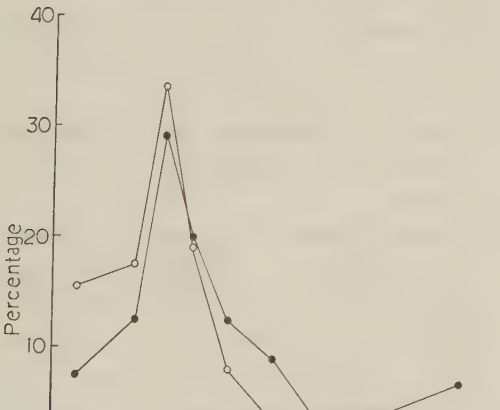


図 6　水域Ⅰ（黒丸）および水域Ⅱ（白丸）における各区画粒度百分率の平均

Average percentage of granule size of each division in the area I (black circle) and in the area II (white circle).

換言すれば水域Ⅰでは大きい粒径の底砂と相対的に小さい粒径の底砂が混り合うか，小さい粒径の底砂が均一的に分布する傾向にあることが示されている。また，水域Ⅱでは小さい粒径の底砂にさらに小さい粒径の底砂が混り合うか相対的に大きい粒径の底砂が均一的に分布する傾向にあることが示されている。

これらの点を両水域の粒度分布と照合して検討すると以下のようになる。両水域において全区画の粒度組成の平均値を求めると，両水域ともに 149 μ に明瞭なモードが認められる。ただし，125 μ 以下の小さい粒径の比率は水域Ⅰが 19.9 % であるのに対し，水域Ⅱは 32.3 % と多い。他方，177 μ 以上の大きい粒径の比率は水域Ⅰが 51.2 %，水域Ⅱが 34.5 % で水域Ⅰの方が大きい（図 6）。

したがって，水域Ⅰ，Ⅱともに 150 μ 前後の底砂が主体的に分布しているものの，水域Ⅰでは 200 μ 以上の大きい粒径の底砂と混り合う状態にあること，また，水域Ⅱでは 100 μ 以下の小さい粒径の底砂，即ち泥分の混り合う状態にあることが理解されよう。

4.2　ベントス

マクロベントスはおもに水質，底質の汚染の面からの調査が多い。一般に富栄養化が進むと甲殻類あるいは Biotic Index が減少し，多毛類の増加することが知られている[7][8]。水域Ⅰでは甲殻類が，水域Ⅱでは多毛類が優占動物となっていることから水域Ⅰの方がⅡよりも水域全体の傾向としては富栄養的であることが推定される。

水域ⅠとⅡとの組成の比較は調査月が異なるため困難である。ただし，底質の場合と同様，年度の違いはあるがいずれも 9 月に行なわれた水域Ⅰの第 1 回，水域Ⅱの第 2 回の調査結果の照合により一定の検討は可能と思われる。

各水域の水域内平均値と標準偏差にもとずきベントス各類の分布密度の有意差を T 検定すると以下のようになる。

まず，軟体動物の分布密度は水域Ⅰが19区画で 42.6±77.2，水域Ⅱが15区画で 30.0±30.0 で $T'=0.652$ と求められ，$t'_{32}(0.05)=2.105$ であることから有意水準 0.05 では両水域の間に有意差は認められない。

同様に他の動物についても T または T' の値を求めると，多毛類では 1.624，甲殻類では 2.816，棘皮動物では 0.351，線虫類では 0.307，星虫類では 0.245，また，全ベントスでは 0.224 となる。したがって，0.05 の有意水準では甲殻類を除き他の動物および全ベントスに関しては有意差が認められない。

次いで，両水域の多様度指数についても同様の検定を行うと，平均±標準偏差が水域Ⅰで 2.786±1.393，水域Ⅱで 5.255±2.762 であることから $T'=3.363$ となる。したがって有意水準 0.05 で両水域の間に有意差が認められる。

以上の各検定結果から水域Ⅰ，Ⅱの比較に関し，9月時に限定し，かつベントス各類の年変動を無視するとすれば

① 水域ⅠがⅡよりも甲殻類の分布密度は高いが，他のベントス類およびベントス全体の分布密度に関しては両水域の間に有意差は認められない。

② 水域ⅡはⅠよりもベントスの多様性が高く，その比率は約 2：1 である。

の2点が言えよう。このうち①は河口周辺部で端脚類が優占し，②は水深 6～10 m の泥分堆積域で多種の多毛類の出現したことによると考えられる[9]。

一方，ベントス各類間の分布密度の相関が全般的に低かったことから，概してベントス各類の分布密度は相互に比較的独立性を保って増減するものと考えられる。

次に，底質とベントス各類の関係においては水域Ⅰ，Ⅱともに多毛類×泥分・強熱減量・*CN* 値に正の相関が，甲殻類×同項目に負の相関が認められている。このことは本調査水域のような外性砂浜域においても泥分，有機分の増加が多毛類の増加と甲殻類の減少を伴なうことを示している。また，各調査月とも泥分の水域平均値が 14～16％ と多かった水域Ⅱでは泥質が有機分の貯留を伴い，多毛類が優占動物になっているものと考えられる。

一方，同じ水域Ⅱの第3回の調査における区画間の類似度マトリックスから *st* 1～6，*st* 8～15 の2つのブロックへの分別が認められた。同調査での各区画の底質の値とベントス各類の分布密度の関係から，*st* 1～6 は泥分が少なく端脚目が主体の甲殻類の優占区域，*st* 8～15 は泥分の多い多毛類の優占区域と見なせる。

5. 結　　語

以上，砂浜浅海域における底質，ベントス，および両者間の関係，等について一定の検討を加えた。これらの諸点に関する普遍的性状を高い精度で把握するには今回の調査のみでは不足の点が多い。当然今後とも同類の調査の継続，新たな解析方法の導入が必要であろう。

緒言で述べたごとく砂浜域における漁場造成を有効に進めるためには環境変化と生物構造の変化とを適格に予測しておく必要がある。今回対象としたマクロベントスの多くは砂浜性魚類・甲殻類にとって重要な餌料生物である。仮に餌料生物の増殖に適した水理あるいは底質についての環境改変が可能であるとすれば，そのことは魚類・甲殻類の育成場の造成と結びつき得よう。

今後はヒラメ・カレイ類，甲殻類等の主要砂浜生物の分布と底質あるいはベントスとの関係を定性的に調べるとともに定量的観点からも検討を加え，砂浜域における漁場，増殖場造成の理論化に努めることが必要と考えられる。

おわりに本報告作成にあたっては調査に関し日本海区水産研究所浅海開発部第2研究室および第3研究室の室長，室員各位に多くの御協力を頂いた。また，データーのとりまとめ，著述については水産工学研究所水産土木工学部中村部長，同じく上北室長に懇切な御指導を頂いた。ここに記して深謝の意を表します。

参考文献

1) 小澤智生・野島哲：*Visher* 法による堆積物の粒度分析法とベントス研究への適用，ベントス研連誌 11/12，p. 35～49，1976

2) 高橋惇・石川和芳：鹿島港周辺の底質と底生動物について，茨城水試試研報，20，p. 17～42，1976

3) 木元新作：動物群集研究法Ⅰ—多様性と種類組成，共立出版社，p. 131～166，1976

4) Wolfgang Wieser : Benthic Studies in Buzzard Bay Ⅱ, The Meiofauna, Limnolgy & Oceanography 5（2），p. 121～137，1960

5) 北森良之介：非閉鎖型海域における底生動物相からみた汚染の現況，水処理技術14（7），p. 685～695，1973

6) 佐野茂：砂浜浅海における生物生産—Ⅱ沿岸域における海底堆積物の性状と底生生物の分布，水産増殖24（2），p. 56～60，1976

7) 北森良之介：水質汚濁にともなう沿岸域の生物相の変化，地域開発2月号，p. 34～38，1971

8) 日本生態学会環境問題専門委員会編：環境と生物指標2—水界編—，共立出版社，p. 255～273，1976

9) 佐野茂：砂浜浅海域における生物生産—Ⅲ海底堆積物中の有機物含有量と底生微生物の密度，水産増殖24（3），p. 77～79，1976

付表 1 水域Ⅰで採集されたマクロベントスの内訳，空欄は 0

Number of each kind of macro benthos collected in the research area I. Blank divisions mean zero value.

門	綱	亜綱	目	第1回		第2回		第3回		合計	
				種数	個体数	種数	個体数	種数	個体数	種数	個体数
袋形動物	線虫		不明	2	4			2	8	2	12
軟体動物	腹足	前鰓	中腹足	1	2					1	2
			新腹足	2	5			1	15	2	20
		後鰓	頭楯	1	2	1	1	1	4	2	7
			不明								
		小計		4	9	1	1	2	19	5	29
	斧足	翼足	真多歯								
		真弁鰓	異歯	6	45	5	81	5	32	7	158
			不明								
		小計		6	45	5	81	5	32	7	158
	合計			10	54	6	82	7	51	13	187
環形動物	多毛		遊在	5	69	3	10	6	39	6	118
			定在	2	23	1	1	8	99	9	123
			不明					1	1	1	1
	合計			7	92	4	11	15	139	16	242
節足動物	甲殻	軟甲	等脚	1	5			2	26	2	31
			端脚	7	300	5	78	11	1,550	11	1,928
			クマ	1	1	1	6	2	481	2	488
			コノハエビ	1	1					1	1
		橈脚	ハルパクチス	1	14					1	14
		介形	ミオドコーパ	1	2			1	1	2	3
	合計			12	323	6	84	16	2,058	19	2,465
星口動物	星虫		星虫	1	3			2	3	2	6
棘皮動物	蛇尾		唇蛇尾					1	1	1	1
	海膽	真海膽	楯形	1	51	1	75	1	126	1	252
	合計			1	51	1	75	2	127	2	253
総計				33	527	17	252	44	2,386	52	3,165

付表 2 水域Ⅱで採集されたマクロベントスの内訳，空欄は0

Number of each kind of macro benthos collected in the research area II. Blank divisions mean zero value.

門	綱	亜綱	目	第1回		第2回		第3回		合計	
				種数	個体数	種数	個体数	種数	個体数	種数	個体数
袋形動物	線虫		不明	1	5	1	4			2	9
軟体動物	腹足	前鰓	中腹足			1	2	1	1	2	3
			新腹足					1	3	1	3
		後鰓	頭楯	2	17	2	6			2	23
			不明	1	1					1	1
		小計		3	18	3	8	2	4	6	30
	斧足	翼足	真多歯			1	2			1	2
		真弁鰓	異歯	6	94	7	20	6	182	8	296
			不明								
		小計		6	94	8	22	6	182	9	298
	合計			10	112	12	30	8	186	15	328
環形動物	多毛		遊在	11	320	12	73	9	81	16	474
			定在	8	461	13	290	11	54	18	805
			不明	3	26	1	2	1	1	3	29
	合計			22	807	26	365	21	136	37	1,308
節足動物	甲殻	軟甲	等脚	2	2	1	3	1	2	2	7
			端脚	5	53	5	26	3	6	7	85
			クマ	1	5	1	2			1	7
			コノハエビ	1	1	1	1	1	1	1	3
		橈脚	ハルパクチス								
		介形	ミオドコーパ	1	2			1	1	1	3
	合計			10	63	8	32	6	10	12	105
星口動物	星虫		星虫	2	7	1	3	2	12	3	22
棘皮動物	蛇尾		唇蛇尾	1	3	1	3	1	1	1	7
	海膽	真海膽	楯形	1	18	1	24	1	26	1	68
	合計			2	21	2	27	2	27	2	75
総計				46	1,015	49	461	39	371	71	1,847

付表 3 水域Ⅰにおけるマクロベントス各種類分布密度間の相関係数
Correlation coefficiient matrix between distribution density of each kind of benthos in the research area I.

第 1 回

	棘皮動物	節足動物	環形動物
軟体動物	0.382	0.026	0.023
環形動物	−0.203	0.151	
節足動物	−0.117		
棘皮動物			

第 2 回

	棘皮動物	節足動物	環形動物
軟体動物	−0.215	−0.307	0.075
環形動物	−0.051	0.155	
節足動物	−0.205		
棘皮動物			

第 3 回

	棘皮動物	節足動物	環形動物
軟体動物	0.185	−0.572	0.271
環形動物	0.643	−0.296	
節足動物	0.137		
棘皮動物			

平 均

	棘皮動物	節足動物	環形動物
軟体動物	0.117	−0.284	0.123
環形動物	0.130	−0.004	
節足動物	−0.062		
棘皮動物			

付表 4 水域Ⅱにおけるマクロベントス各種類分布密度間の相関係数
Correlation coefficient matrix between distribution density of each kind of benthos in the research area II.

第 1 回

	棘皮動物	節足動物	環形動物
軟体動物	−0.271	−0.120	0.675
環形動物	−0.118	−0.266	
節足動物	−0.027		
棘皮動物			

第 2 回

	棘皮動物	節足動物	環形動物
軟体動物	−0.187	−0.251	−0.201
環形動物	0.223	−0.308	
節足動物	0.692		
棘皮動物			

第 3 回

	棘皮動物	節足動物	環形動物
軟体動物	−0.311	−0.267	0.295
環形動物	−0.458	−0.024	
節足動物	−0.124		
棘皮動物			

平 均

	棘皮動物	節足動物	環形動物
軟体動物	−0.256	−0.213	0.256
環形動物	−0.118	−0.199	
節足動物	−0.281		
棘皮動物			

付表 5　水域Ⅰにおける底質とマクロベントス分布密度の相関の大小，相関係数 $r(0 \leqq |r| \leqq 1)$ を 0.2 間隔の 5 段階で表示，空白部は出現ベントス少数のため，または強熱減量，C, N 値欠測のため計算から除外

Rank of correlation between each measurement item of the bottom sand and each kind of benthos in the research area I. Correlation coefficient $(0 \leqq |r| \leqq 1)$ is indicated with five ranks at 0.2 interval. Blanks mean exception of calculation because of minority of benthos number, or of lack of measurement of ignittion loss and C, N value.

第1回

門 / 網 / 底質 / 目	軟体動物			環形動物			節足動物				棘皮動物			全マクロベントス	多様度指数
	腹足	斧足	合計	多毛		合計	軟甲			合計	蛇尾	海膽	合計		
				遊在	定在		等脚	端脚	クマ		唇蛇尾	楯形			
中央粒径値	+1	+2	+2	−1	+1	−1		−1		−1		+3	+3	+2	+1
泥分	−1	−1	−1	−1	−1	−1		−1		−1		−1	−1	−2	−2
淘汰度	−2	−2	−2	−2	−2	−2		−2		−2		+2	+2	−2	−2
均等係数	−1	−1	−1	+1	+1	+1		−1		−1		+1	+1	−1	−1
強熱減量															
C 値															
N 値															
C + N 値															

第2回

門 / 網 / 底質 / 目	軟体動物			環形動物			節足動物				棘皮動物			全マクロベントス	多様度指数
	腹足	斧足	合計	多毛		合計	軟甲			合計	蛇尾	海膽	合計		
				遊在	定在		等脚	端脚	クマ		唇蛇尾	楯形			
中央粒径値	+3	+5	+5	−1		−1		−2		−2		−2	−2	+1	+1
泥分	−2	−2	−3	−1		+1		+1		−1		+3	+3	+1	+2
淘汰度	−2	−3	−3	+1		+1		+3		+2		+1	+1	−1	+2
均等係数	−1	+3	+2	−1		−1		−1		−1		−1	−1	−1	+2
強熱減量															
C 値															
N 値															
C + N 値															

第3回

門 / 網 / 底質 / 目	軟体動物			環形動物			節足動物				棘皮動物			全マクロベントス	多様度指数
	腹足	斧足	合計	多毛		合計	軟甲			合計	蛇尾	海膽	合計		
				遊在	定在		等脚	端脚	クマ		唇蛇尾	楯形			
中央粒径値	−2	−1	−1	+1	−2	−1	+3	−1	+1	−1		+3	+3	−1	−1
泥分	−1	+3	+2	+3	+2	+3	−3	−2	−1	−2		−2	−2	−1	+2
淘汰度	−1	+2	+1	+2	+2	+2	+3	−2	−1	−2		+3	+3	−2	+1
均等係数	−2	+3	+2	+3	+3	+3	−1	−2	−2	−2		+1	+1	−2	+2
強熱減量	−1	−1	−1	+2	+1	+1	+2	−1	−2	−1		+1	+1	+2	−1
C 値	−1	+1	+1	+3	+2	+2	−1	+1	−2	−1		−1	−1	+1	−1
N 値	−1	+2	+2	+2	+2	+2	−2	−1	−2	−1		−2	−2	+1	−2
C + N 値	−1	+1	+1	+3	+2	+2	−1	+1	−2	−1		−1	−1	+1	−1

平均

門 / 網 / 底質 / 目	軟体動物			環形動物			節足動物				棘皮動物			全マクロベントス	多様度指数
	腹足	斧足	合計	多毛		合計	軟甲			合計	蛇尾	海膽	合計		
				遊在	定在		等脚	端脚	クマ		唇蛇尾	楯形			
中央粒径値	+1	+3	−2	−1	+1	−1	+3	−1	+1	−1		+2	+2	−1	−2
泥分	−1	−1	−1	+2	+2	+2	−2	+1	−2	−1		−1	−1	−2	+3
淘汰度	−2	+1	−1	+1	+2	+2	+2	−1	−2	−1		+2	+2	+3	−2
均等係数	−1	+2	−2	+2	+3	+4	−1	−1	−3	−2		−1	−1	+1	+1
強熱減量															
C 値															
N 値															
C + N 値															

付表 6　水域Ⅱにおける底質とマクロベントス分布密度の相関の大小，相関係数 $r(0 \leqq |r| \leqq 1)$ を 0.2 間隔の 5 段階で表示，空白部は出現ベントス少数のため，または強熱減量，C，N 値欠測のため計算から除外

Rank of correlation between each measurement item of the bottom sand and each kind of benthos in the research area II. Correlation coefficient $(0 \leqq |r| \leqq 1)$ is indicated with five ranks at 0.2 interval. Blanks mean exception of calculation because of minority of benthos number, or of lack of measurement of ignition loss and C, N value.

第1回

門 / 網 / 底質 / 目	軟体動物			環形動物			節足動物				棘皮動物			全マクロベントス	多様度指数
	腹足	斧足	合計	多毛 遊在	多毛 定在	合計	軟甲 等脚	軟甲 端脚	軟甲 クマ	合計	蛇尾 唇蛇尾	海膽 楯形	合計		
中央粒径値	+1	+2	−1	−2	−3	−1		+1		−1		−1	−1	−2	+1
泥分	−1	+2	+2	+4	−2	+3		−3		−3		−1	−1	+3	+3
淘汰度	−1	+2	+2	+4	+1	+3		−2		−2		−2	−2	+3	+3
均等係数	−1	+4	+3	+3	+2	+3		−3		−3		−2	−2	+3	+4
強熱減量	−3	+2	+2	+5	−1	+1		+1		+1		+2	+2	+1	+1
C 値															
N 値															
C + N 値															

第2回

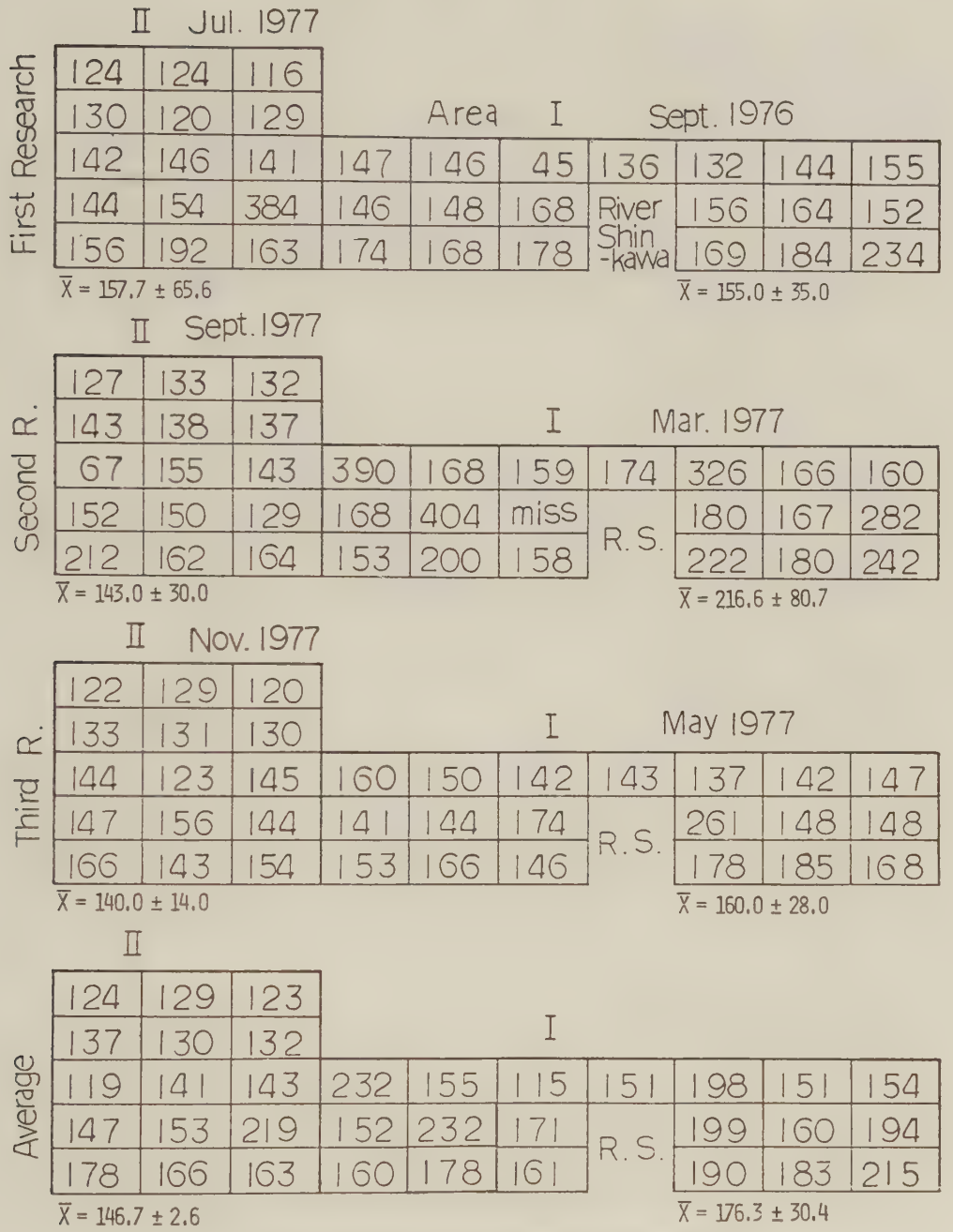
門 / 網 / 底質 / 目	軟体動物			環形動物			節足動物				棘皮動物			全マクロベントス	多様度指数
	腹足	斧足	合計	多毛 遊在	多毛 定在	合計	軟甲 等脚	軟甲 端脚	軟甲 クマ	合計	蛇尾 唇蛇尾	海膽 楯形	合計		
中央粒径値	−1	+1	−1	−1	−4	−4		+2		+2		+1	+1	−4	−1
泥分	−1	+1	+1	−1	+4	+4		−3		−3		−2	−2	+4	+1
淘汰度	−1	−1	−1	−3	+4	+4		−3		−3		−2	−2	+4	−2
均等係数	+1	+2	2	+1	+3	+3		−4		−4		−2	−2	+3	+2
強熱減量	−1	−2	−2	−2	+5	+5		−2		−2		−1	−1	+5	−3
C 値															
N 値															
C + N 値															

第3回

門 / 網 / 底質 / 目	軟体動物			環形動物			節足動物				棘皮動物			全マクロベントス	多様度指数
	腹足	斧足	合計	多毛 遊在	多毛 定在	合計	軟甲 等脚	軟甲 端脚	軟甲 クマ	合計	蛇尾 唇蛇尾	海膽 楯形	合計		
中央粒径値	+2	−2	−2	−4	−3	−4		+1		+2		+4	+4	−3	−3
泥分	−1	+3	+3	+4	+4	+4		−3		−2		−4	−4	+3	+3
淘汰度	−1	+3	+3	+4	+3	+4		−3		−2		−4	−4	+4	+3
均等係数	+2	+2	+2	+1	−1	−1		−2		−3		+1	−1	+1	+1
強熱減量	−2	+1	+1	+2	+2	+2		−2		+2		−2	−2	+2	+2
C 値	−1	+1	+1	+3	+2	+2		−3		−2		−3	−3	+2	+3
N 値	+1	+4	+4	+2	+2	+2		−3		−2		−2	−1	+4	−1
C + N 値	−1	+2	+2	+3	+2	+2		−3		−2		−3	−3	+2	+3

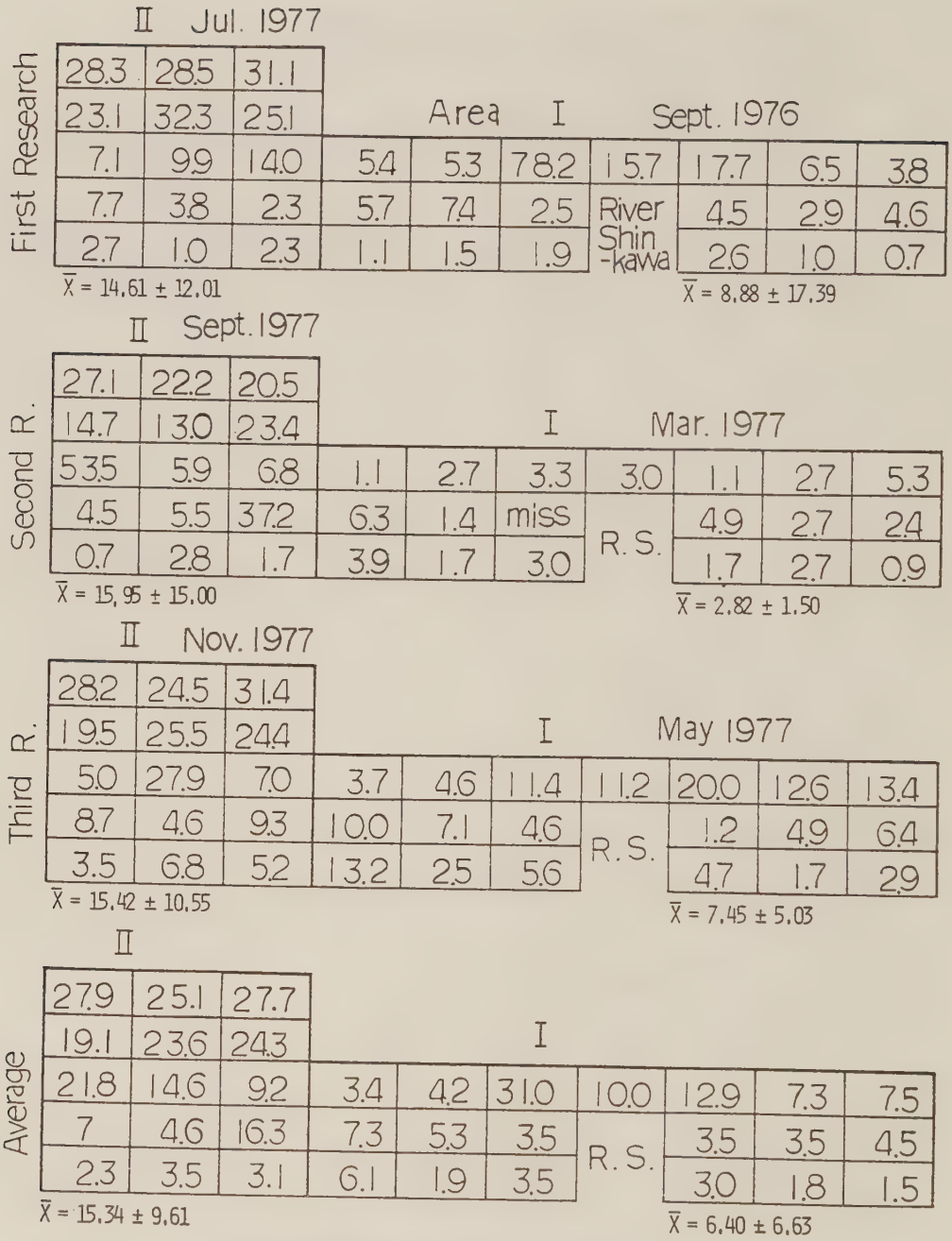
平均

門 / 網 / 底質 / 目	軟体動物			環形動物			節足動物				棘皮動物			全マクロベントス	多様度指数
	腹足	斧足	合計	多毛 遊在	多毛 定在	合計	軟甲 等脚	軟甲 端脚	軟甲 クマ	合計	蛇尾 唇蛇尾	海膽 楯形	合計		
中央粒径値	+1	−1	−1	−3	−3	−3	+3	+1		+1	−3	−3	+2	−3	−1
泥分	−1	+2	−2	+4	+3	+4	−2	−3		−3	−3	+4	−2	+3	+1
淘汰度	−1	+3	+2	+4	+3	+4	−1	−2		−2	−4	+4	−2	+3	+1
均等係数	+1	+2	+2	+3	+2	+2	−1	−3		−3	−3	+3	−1	+3	+1
強熱減量	+2	+1	+1	−1	+4	+3	−1	−1		+1	−1	−1	+1	+3	−1
C 値															
N 値															
C + N 値															



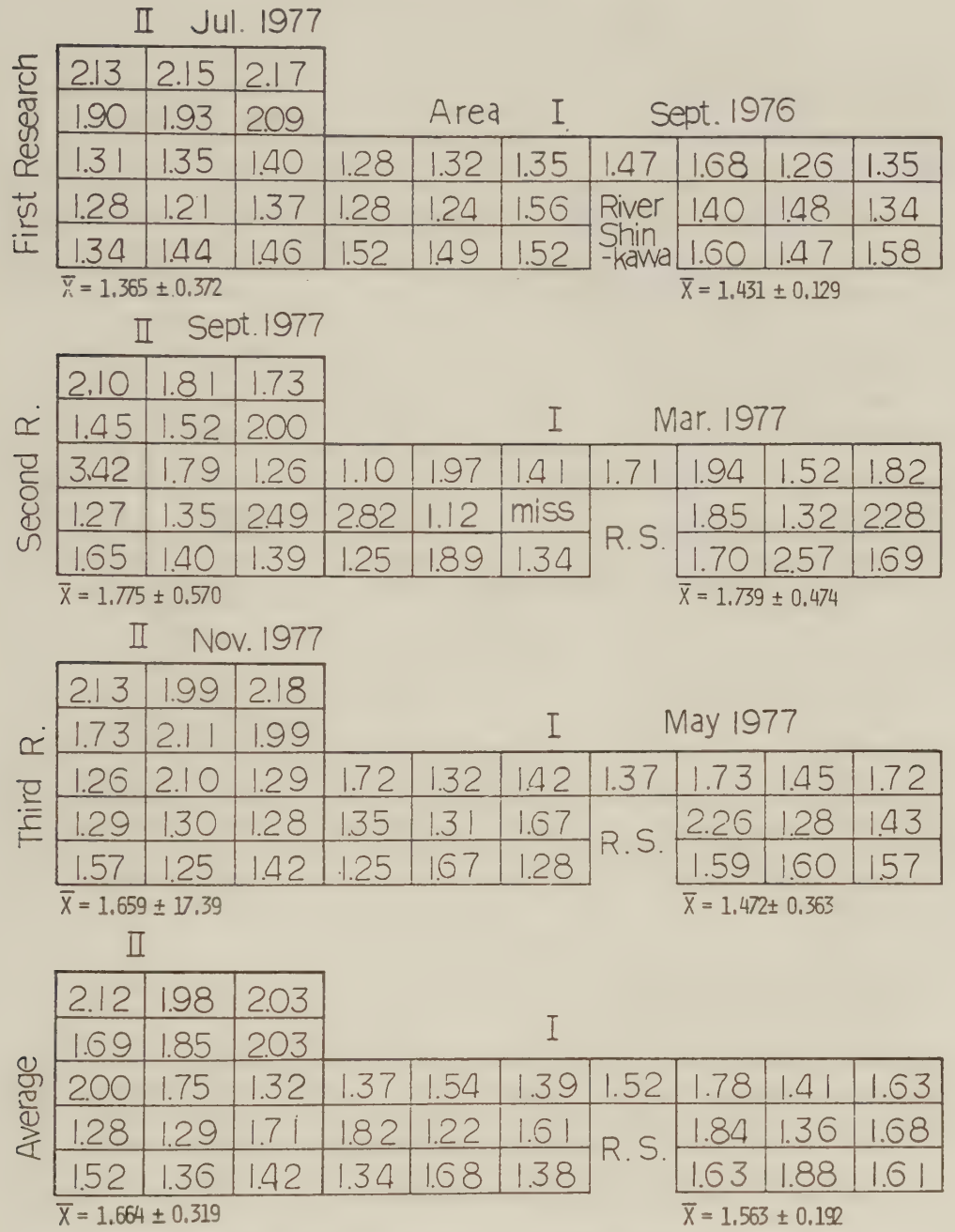
付図 1　水域Ⅰ，Ⅱにおける底砂の区画別中央粒径値（μm）
$\bar{x}$＝全区画平均±標準偏差

Medium grain (D_{50}) of the bottom sand in each division of the research area I and II. $\bar{X}$ means average and standard deviation in each area.



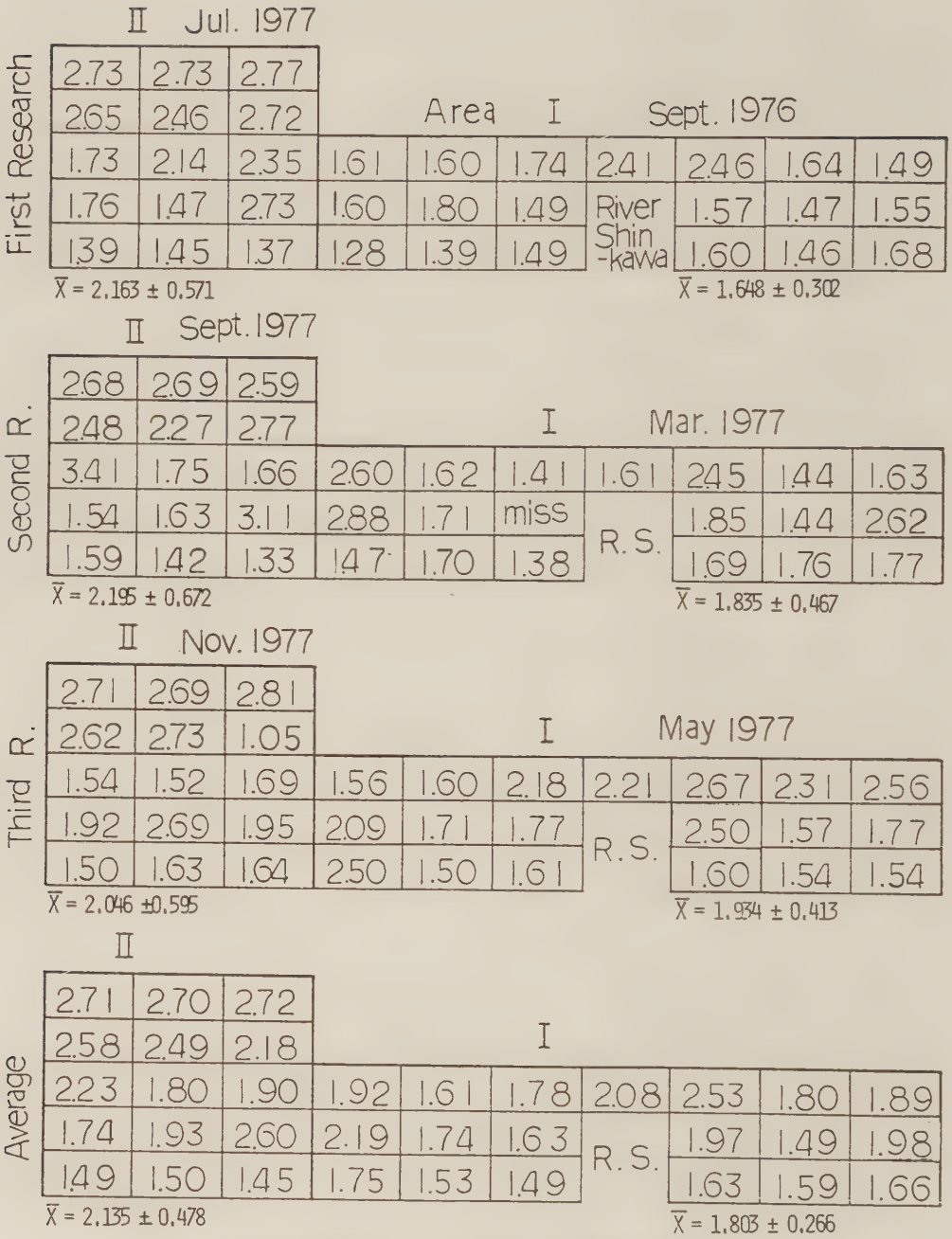
付図 2 水域Ⅰ，Ⅱにおける底砂の区画別泥分 (%)
$\bar{x}$=全区画平均±標準偏差

Percentage of the mud of the bottom sand in each division of the research area I and II



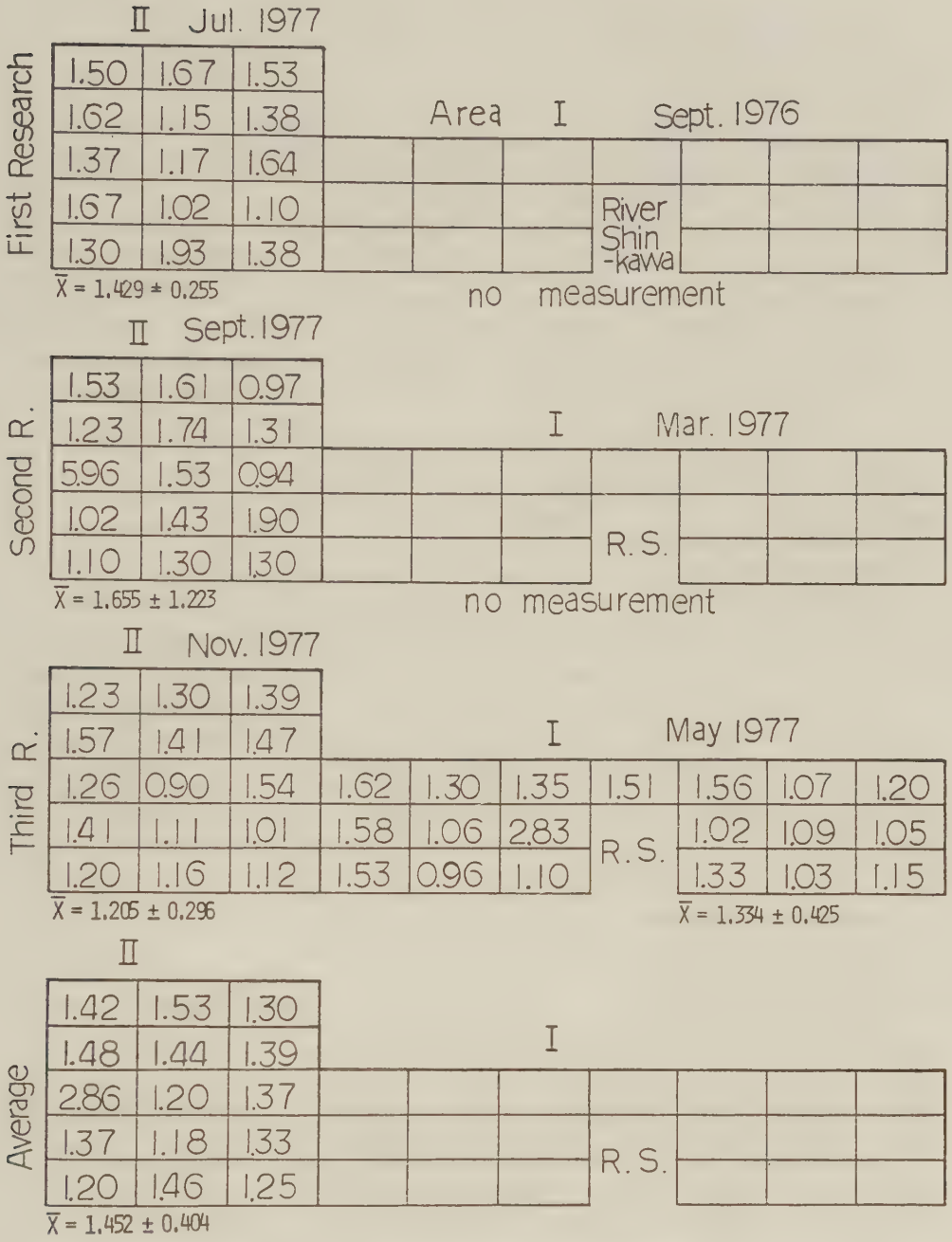
付図 3 水域Ⅰ，Ⅱにおける底砂の区画別淘汰度
$\bar{x}$＝全区画平均±標準偏差

Concentration coefficient (D_{75}/D_{25}) in each division of the research area I and II.



付図 4 水域Ⅰ，Ⅱにおける底砂の区画別均等係数
$\bar{x}$＝全区画平均±標準偏差

Uniformity coefficient (D_{60}/D_{10}) of the bottom sand in each division of the research area I and II.



付図 5 水域Ⅰ，Ⅱにおける底砂の区画別強熱減量（%）
$\bar{x}$＝全区画平均±標準偏差

Ignition loss of the bottom sand in each division of the research area I and II.

C

II Nov. 1977

1.33	1.27	1.54
1.83	1.36	1.24
1.05	1.04	1.02
1.13	1.03	1.15
1.04	1.02	0.91

$\bar{X}$ = 1.195 ± 0.241

Area I May 1977

1.02	1.00	1.09	1.11	1.30	1.11	1.16		
0.99	0.94	1.76	R.S.	0.90	1.00	0.91		
0.90	0.83	0.85		1.21	0.93	0.89		

$\bar{X}$ = 1.046 ± 0.21

N

II Nov. 1977

0.13	0.13	0.16
0.17	0.20	0.12
0.11	0.12	0.11
0.12	0.11	0.15
0.08	0.09	0.09

$\bar{X}$ = 0.122 ± 0.032

I May 1977

0.10	0.12	0.10	0.13	0.13	0.11	0.11		
0.12	0.12	0.16	R.S.	0.06	0.14	0.10		
0.11	0.09	0.10		0.11	0.09	0.09		

$\bar{X}$ = 0.110 ± 0.022

C + N

II Nov. 1977

1.46	1.39	1.65
2.00	1.56	1.34
1.16	1.15	1.13
1.25	1.14	1.30
1.12	1.11	1.00

$\bar{X}$ = 1.317 ± 0.263

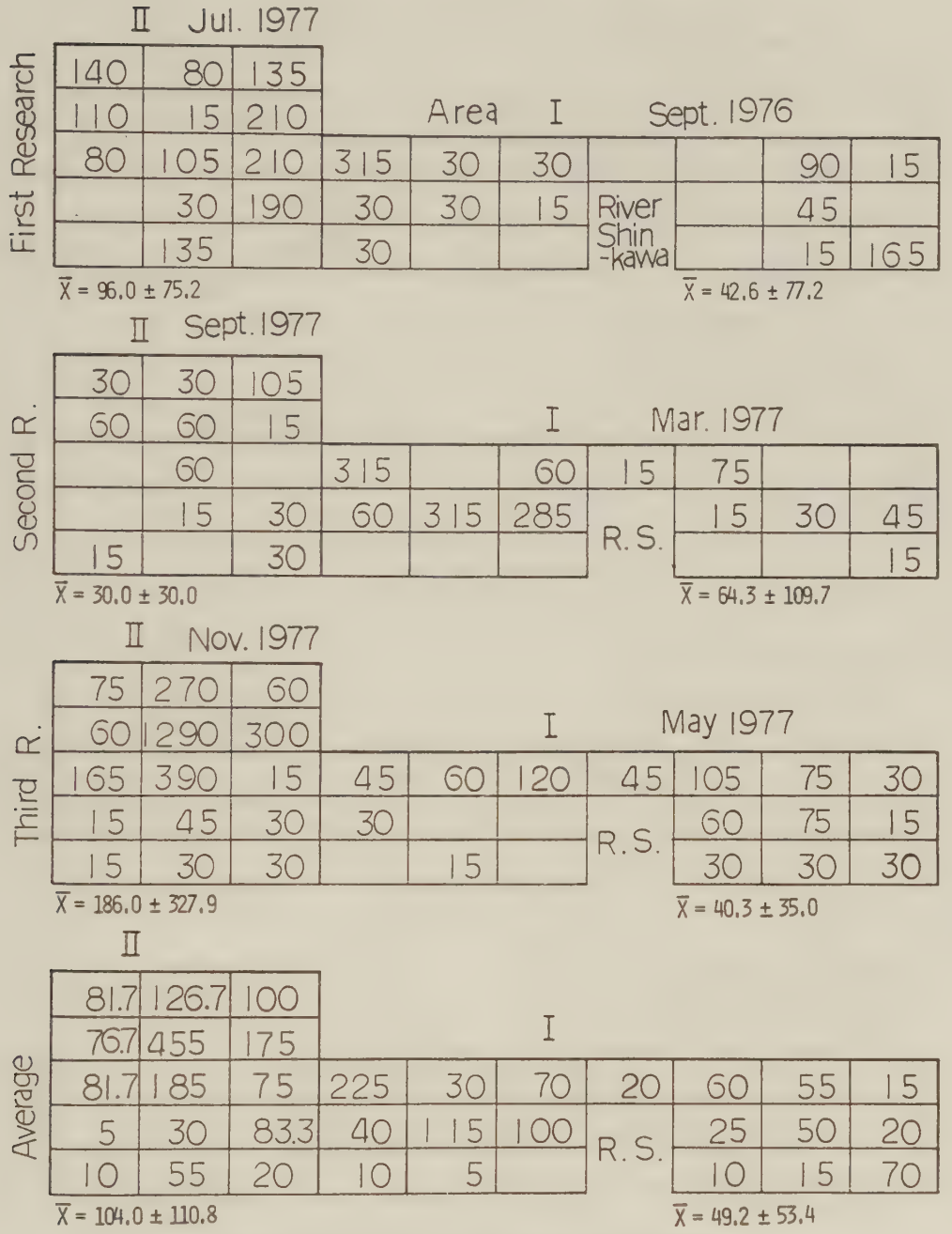
I May 1977

1.12	1.12	1.19	1.23	1.43	1.21	1.27		
1.11	1.06	1.92	R.S.	0.96	1.14	1.01		
1.01	0.92	0.95		1.32	1.01	0.98		

$\bar{X}$ = 1.156 ± 0.231

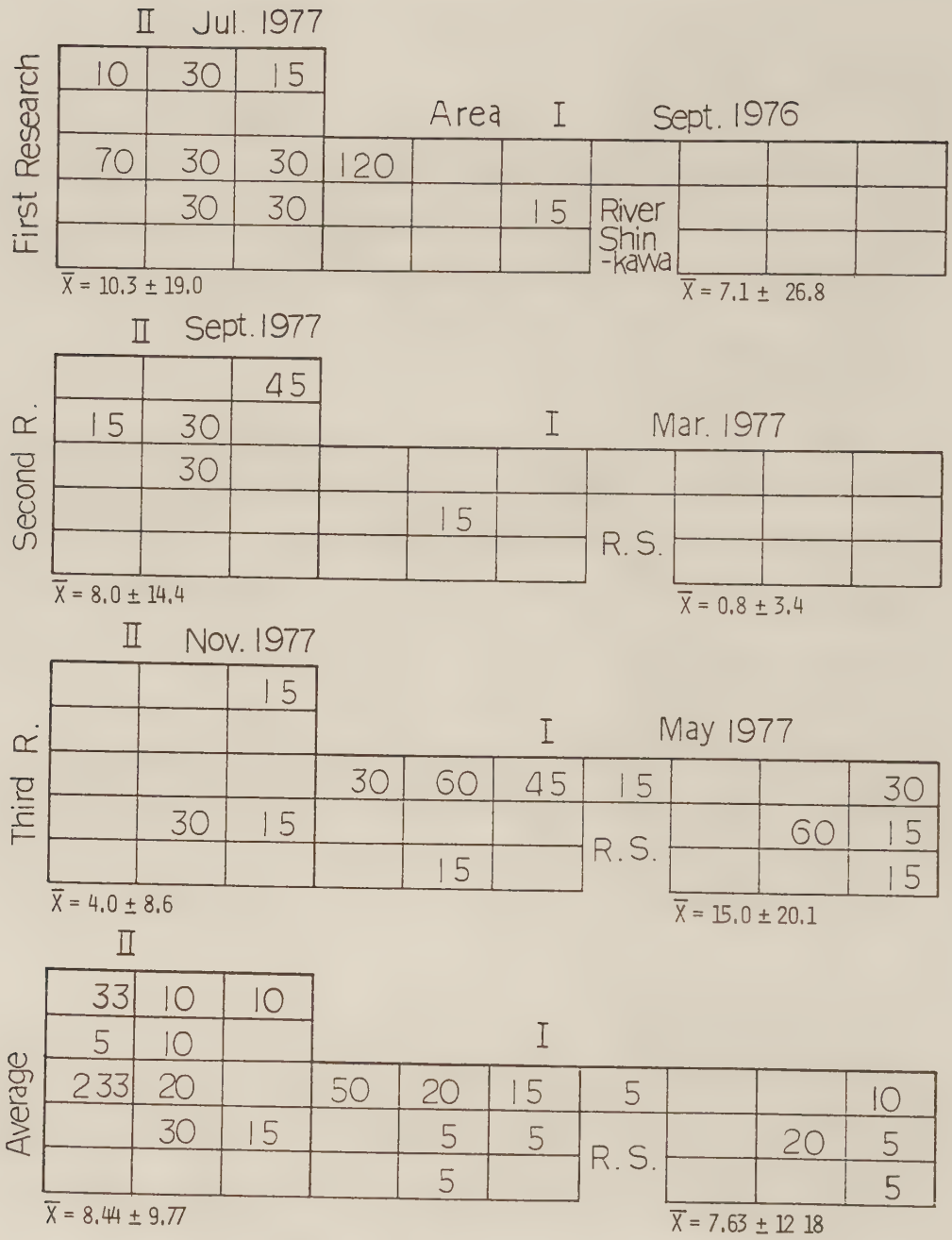
付図 6 水域Ⅰ，Ⅱにおける底砂の区画別 C，N および C+N 値 (mg/g)．$\bar{x}$=全区画平均±標準偏差

Carbon and nitrate amounts of the bottom sand in each division of the research area I and II.



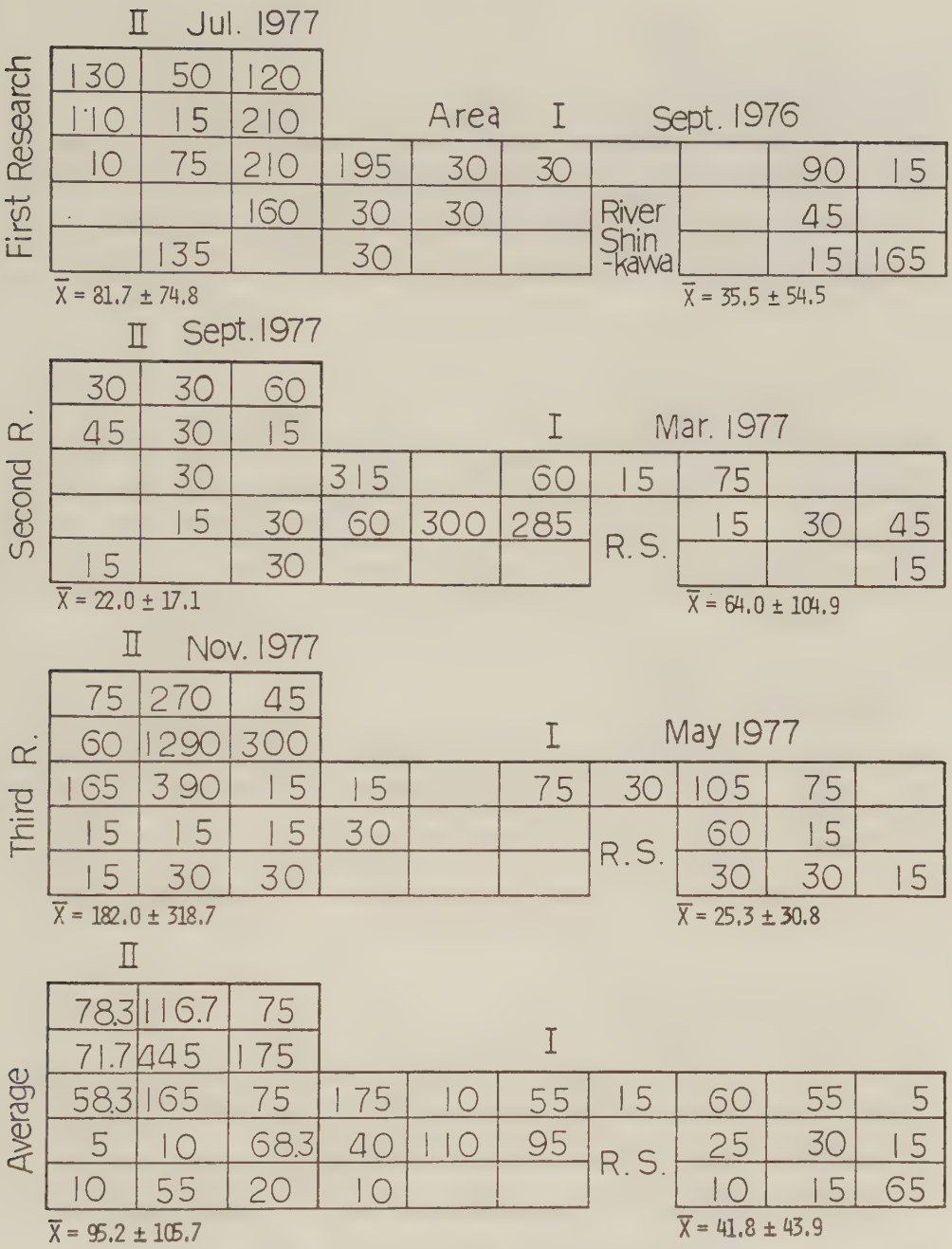
付図 7　水域 I，II における軟体動物の区画別分布密度
(個体数/m²)．空欄は 0
$\bar{x}$＝全区画平均±標準偏差

Distribution density of Mollusca in each division of the research area I and II. Blank divisions mean zero value. $\bar{X}$ means average and standard deviation in each area.



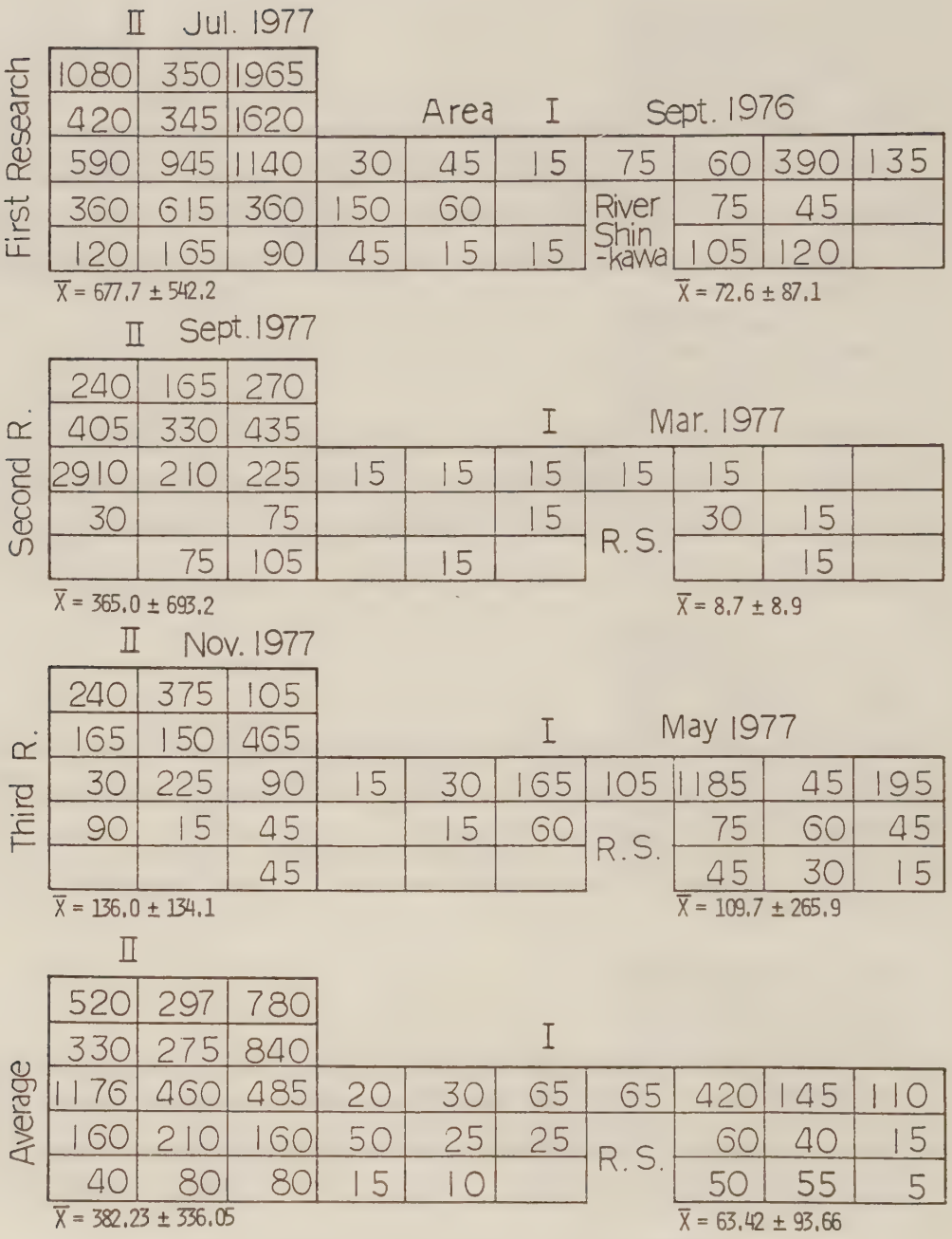
付図 8 水域Ⅰ，Ⅱにおける軟体動物腹足類の区画別分布密度
(個体数/m²)，空欄は 0
$\bar{x}$＝全区画平均±標準偏差

Distribution density of Mollusca-Gastropoda in each division of the research area I and II.



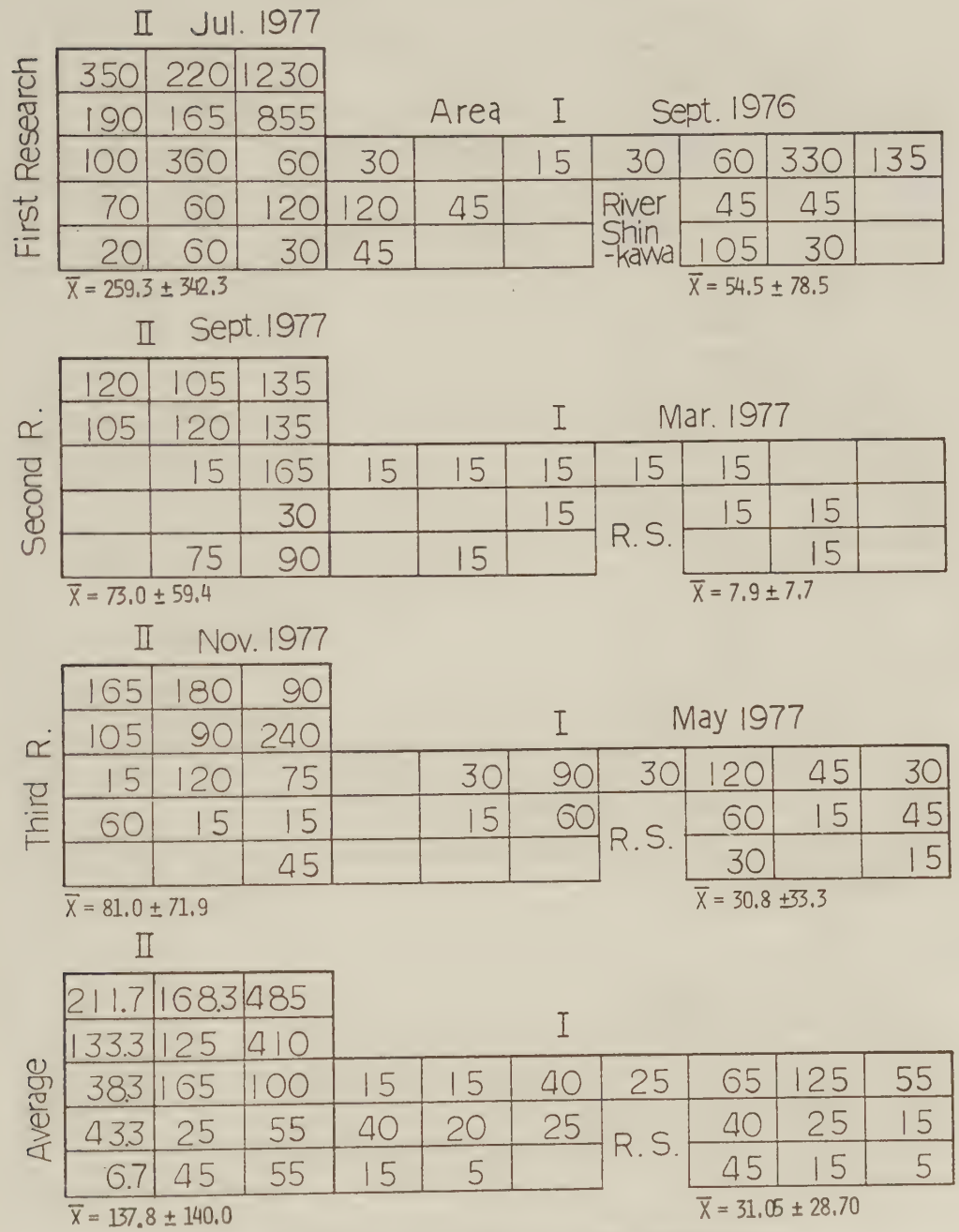
付図 9 水域Ⅰ，Ⅱにおけるマクロベントス中の軟体動物斧足類の区画別分布密度（個体数/m²），空欄は0
$\bar{x}$＝全区画平均±標準偏差

Distribution density of Mollusca-Vivalvia in each division of the research area I and II.



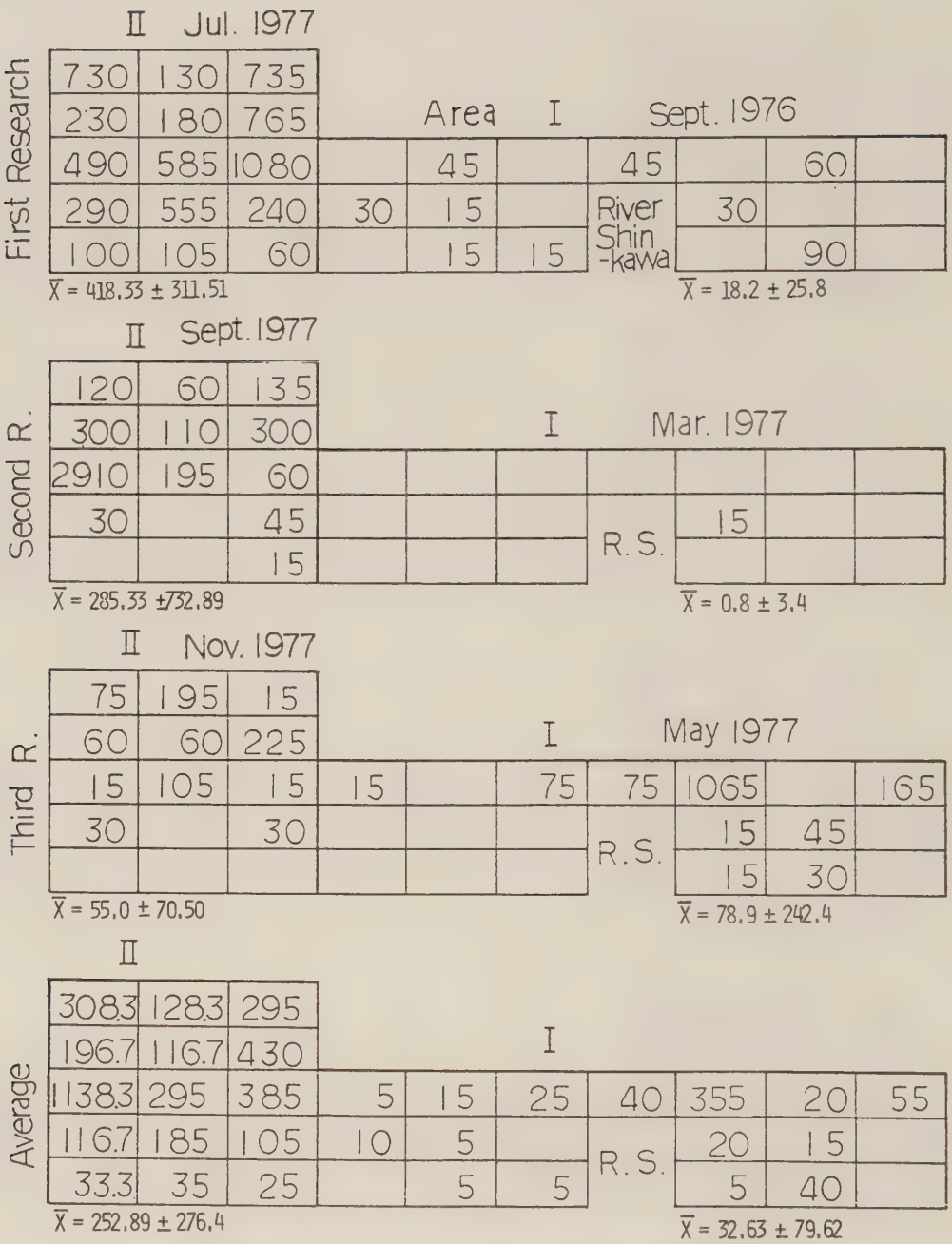
付図 10 水域Ⅰ，Ⅱにおけるマクロベントス中の環形動物多毛類の区画別分布密度（個体数/m²），空欄は0
$\bar{x}$＝全区画平均±標準偏差

Distribution density of Annelida-Polychaeta in each division of th research area I and II.



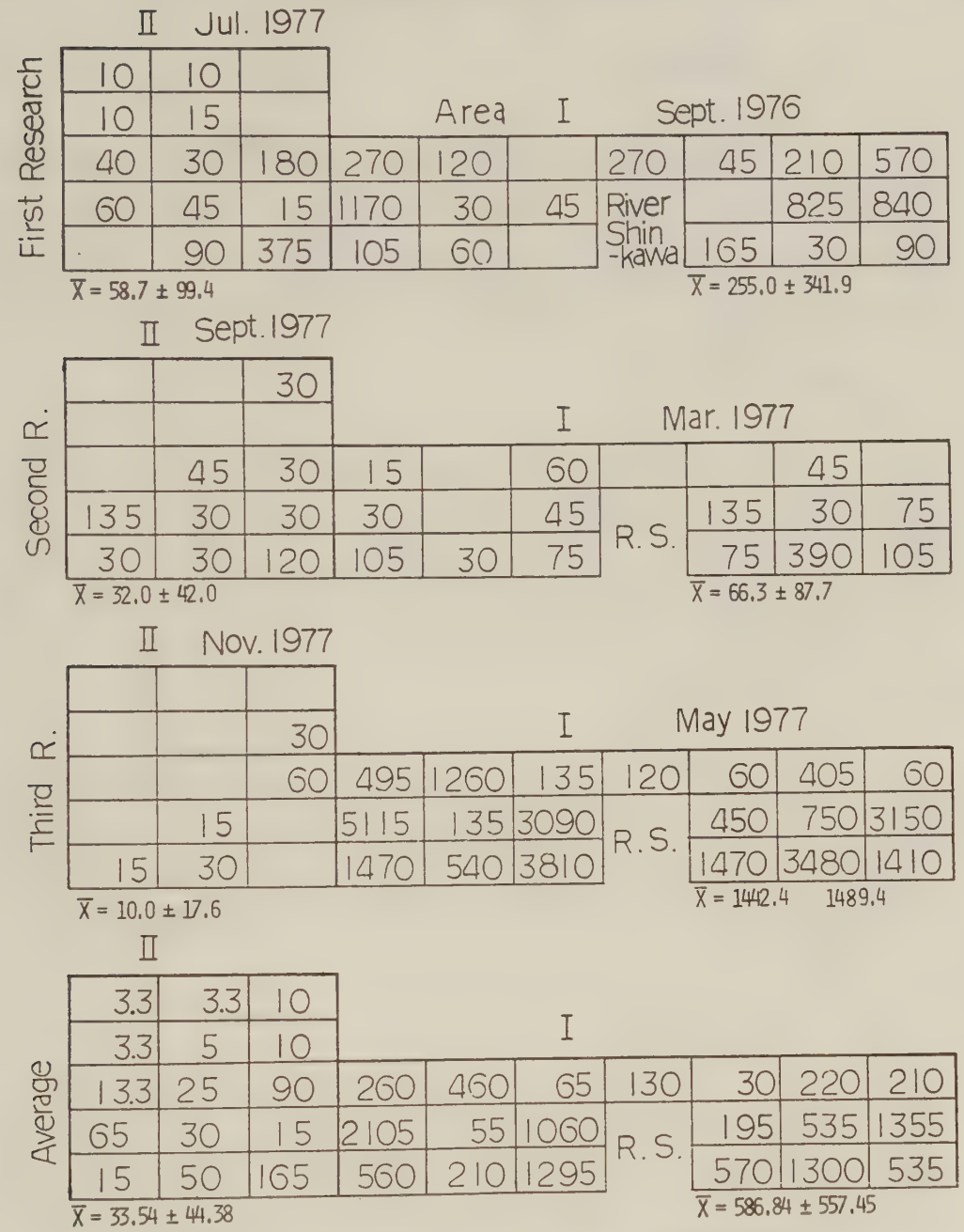
付図 11 水域Ⅰ，Ⅱにおけるマクロベントス中の多毛類遊泳目の区画別分布密度（個体数/m²），空欄は 0
$\bar{x}$＝全区画平均±標準偏差

Distribution density of Polychaeta-Errantia in each division of the research area I and II.



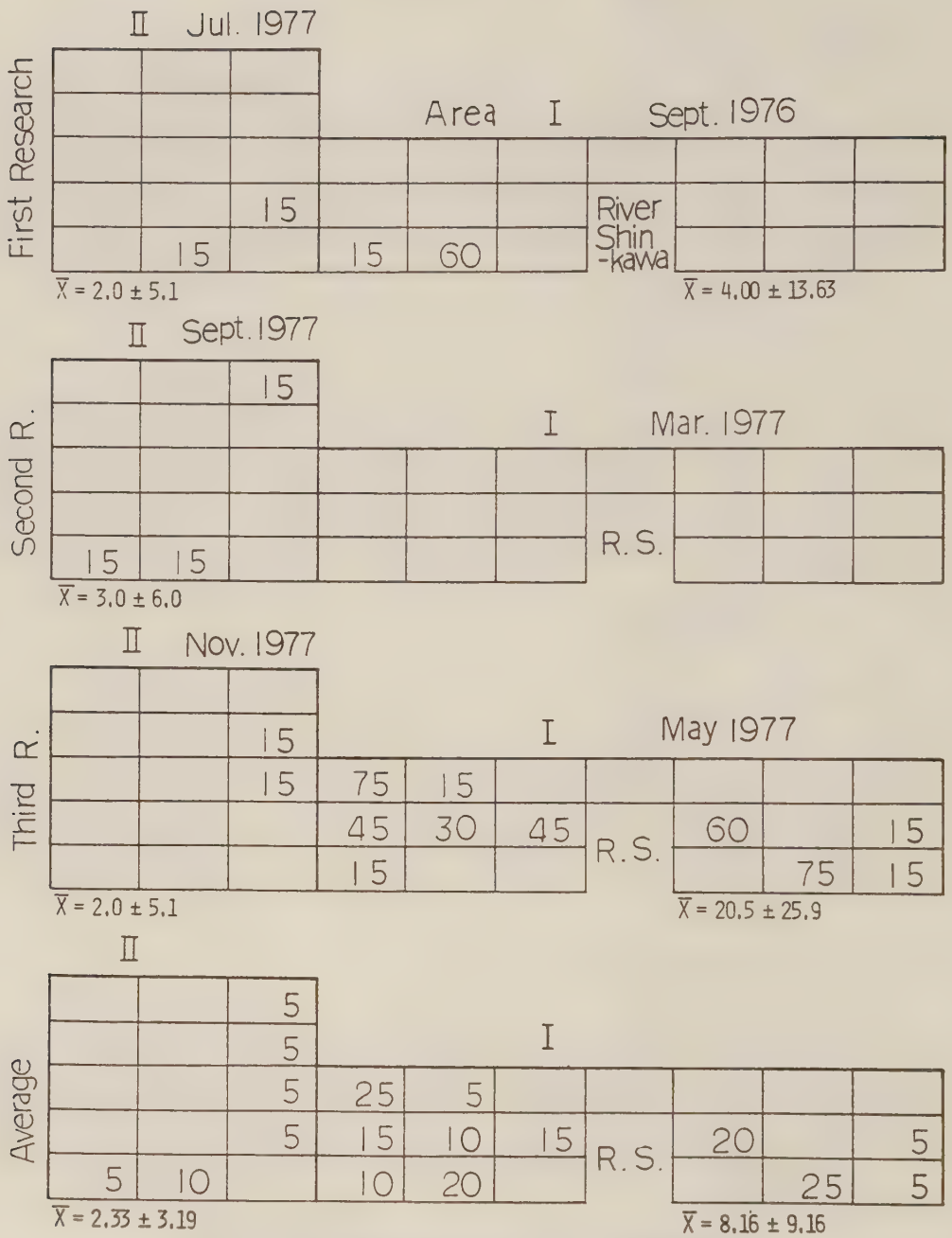
付図 12 水域Ⅰ，Ⅱにおけるマクロベントス中の多毛類定在目の区画別分布密度（個体数/m²），空欄は 0

Distribution density of Polychaeta-Sedentaria in each division of the research area I and II.



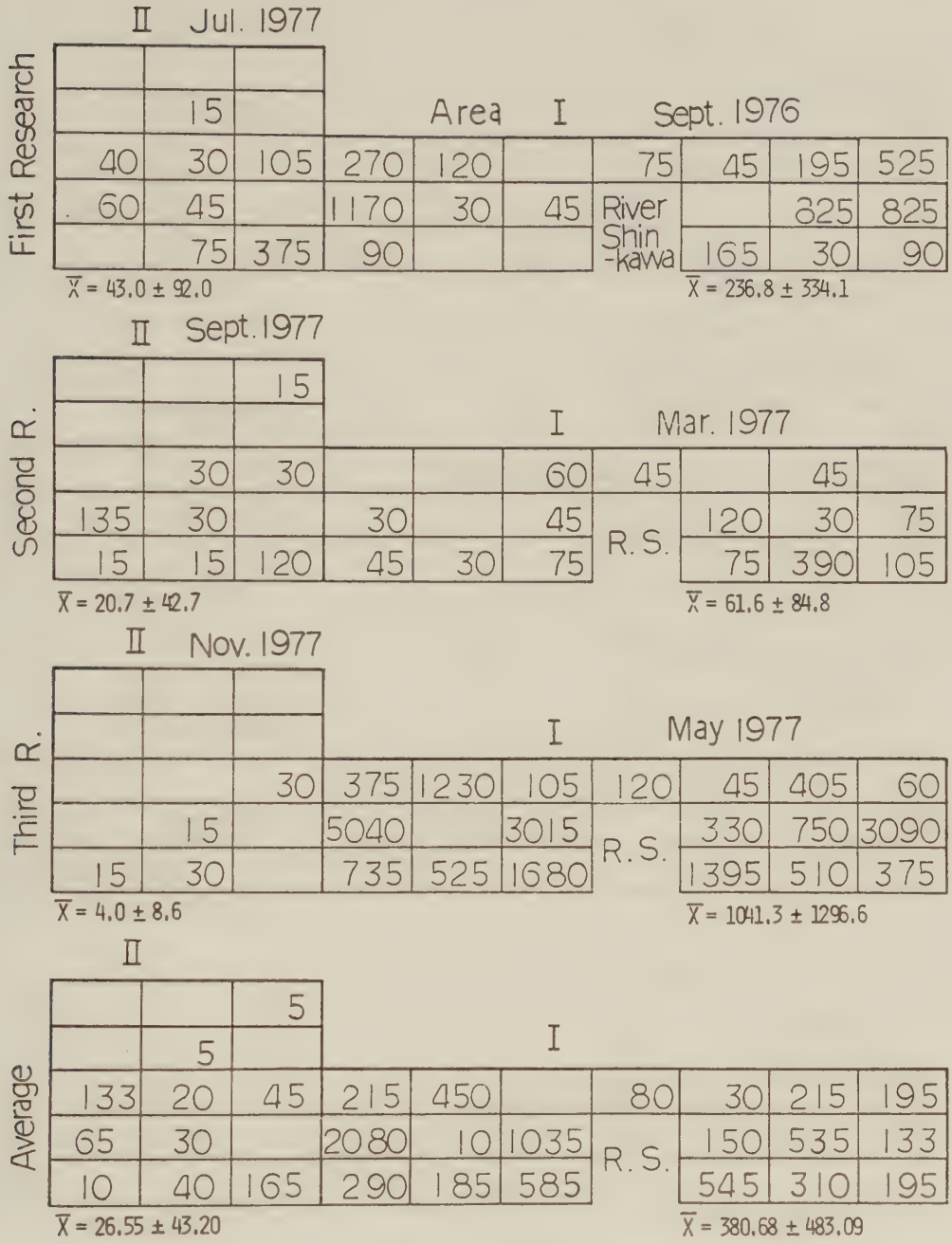
付図 13 水域Ⅰ，Ⅱにおけるマクロベントス中の節足動物甲殻類の区画別分布密度（個体数 /m²），空欄は 0
$\bar{x}$＝全区画平均±標準偏差

Distributon density of Arthropooda-Crustacea in each division of the research area I and II.



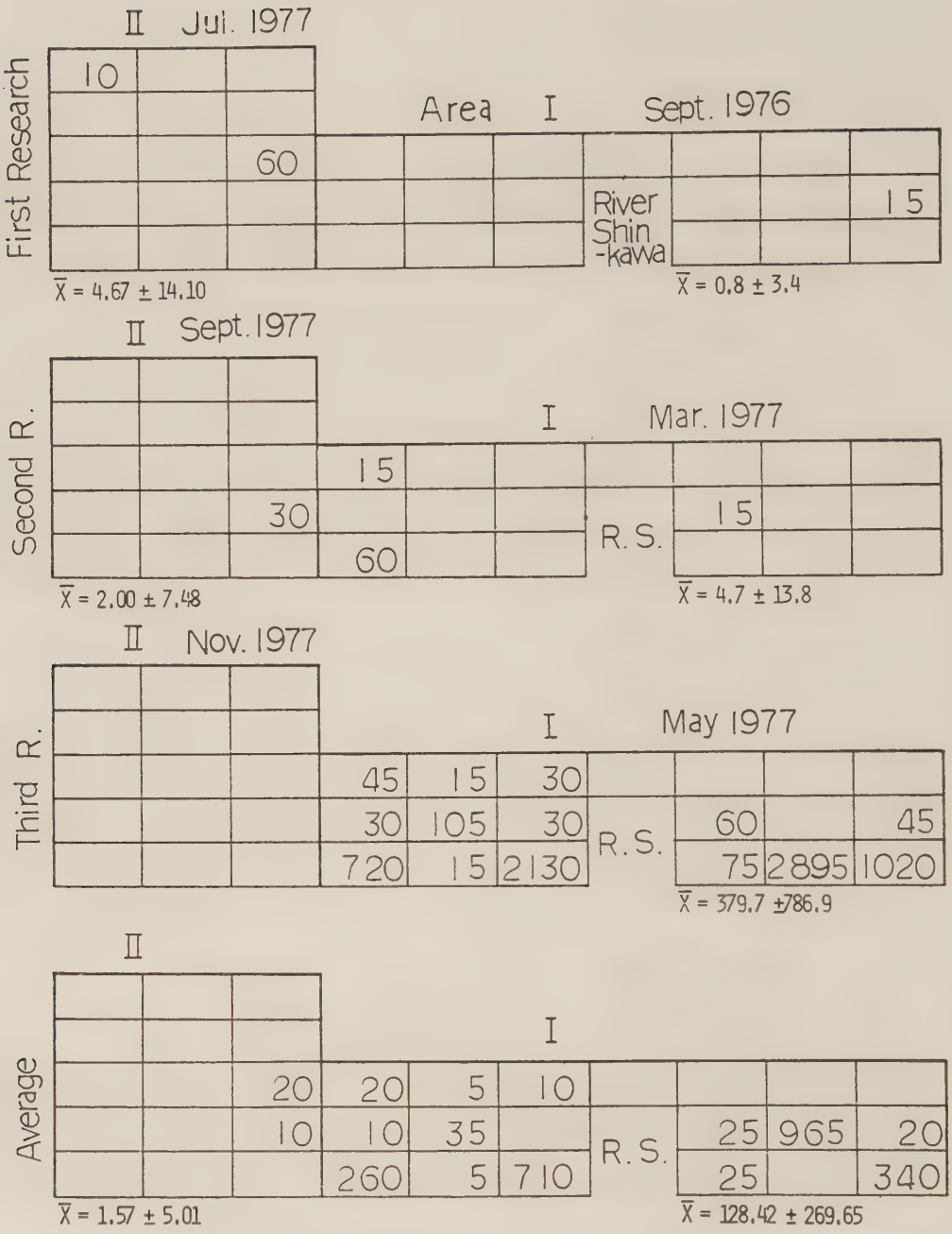
付図 14 水域Ⅰ，Ⅱにおけるマクロベントス中の甲殻類等脚目の区画別分布密度（個体数/m²），空欄は0
$\bar{x}$＝全区画平均±標準偏差

Distribution density of Crustacea-Isopoda in each division of the research area I andII.



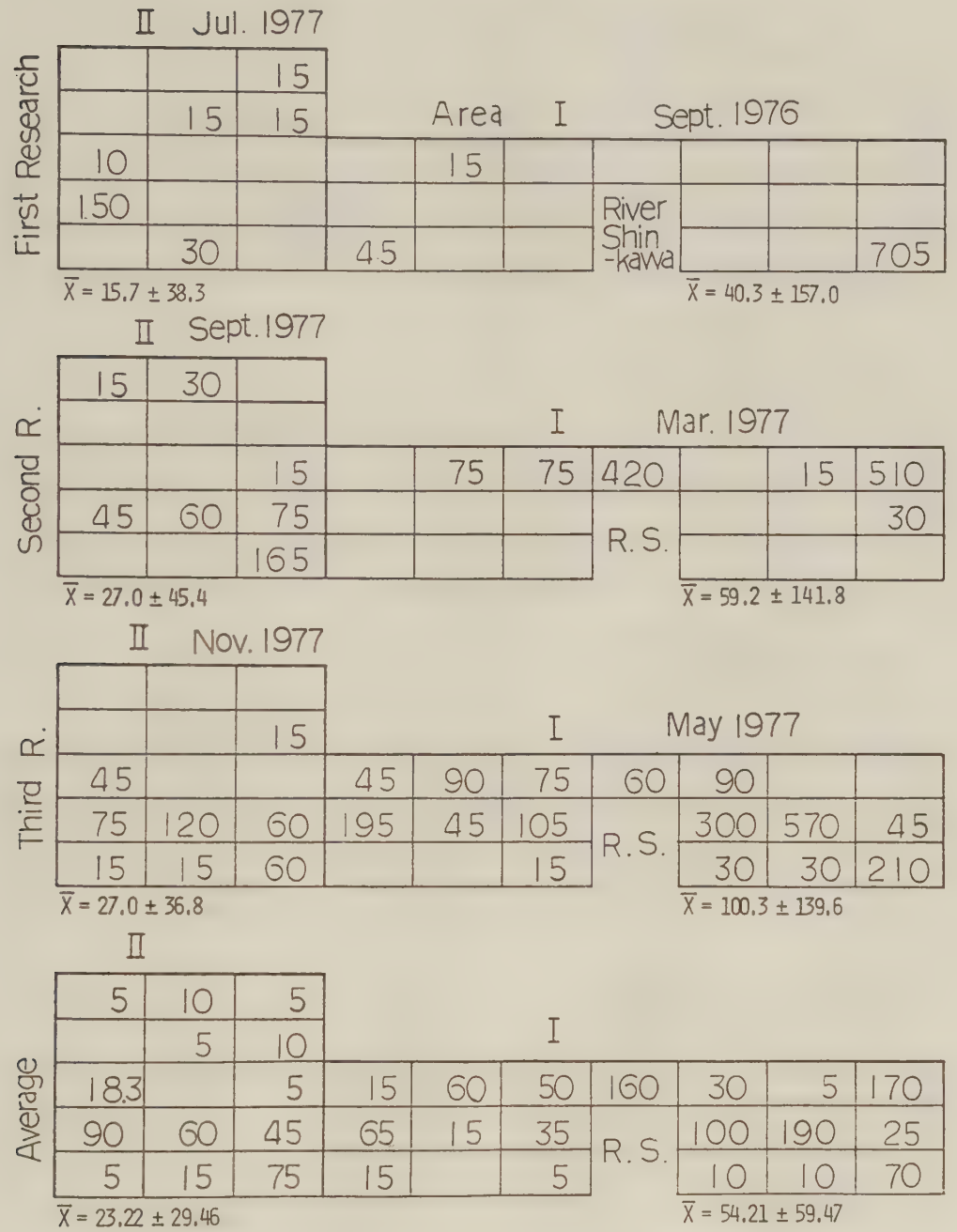
付図 15 水域Ⅰ，Ⅱにおけるマクロベントス中の甲殻類端脚目の区画別分布密度（個体数/m²），空欄は 0

Distribution density of Crustacea in each division of the resaarch area I and II.



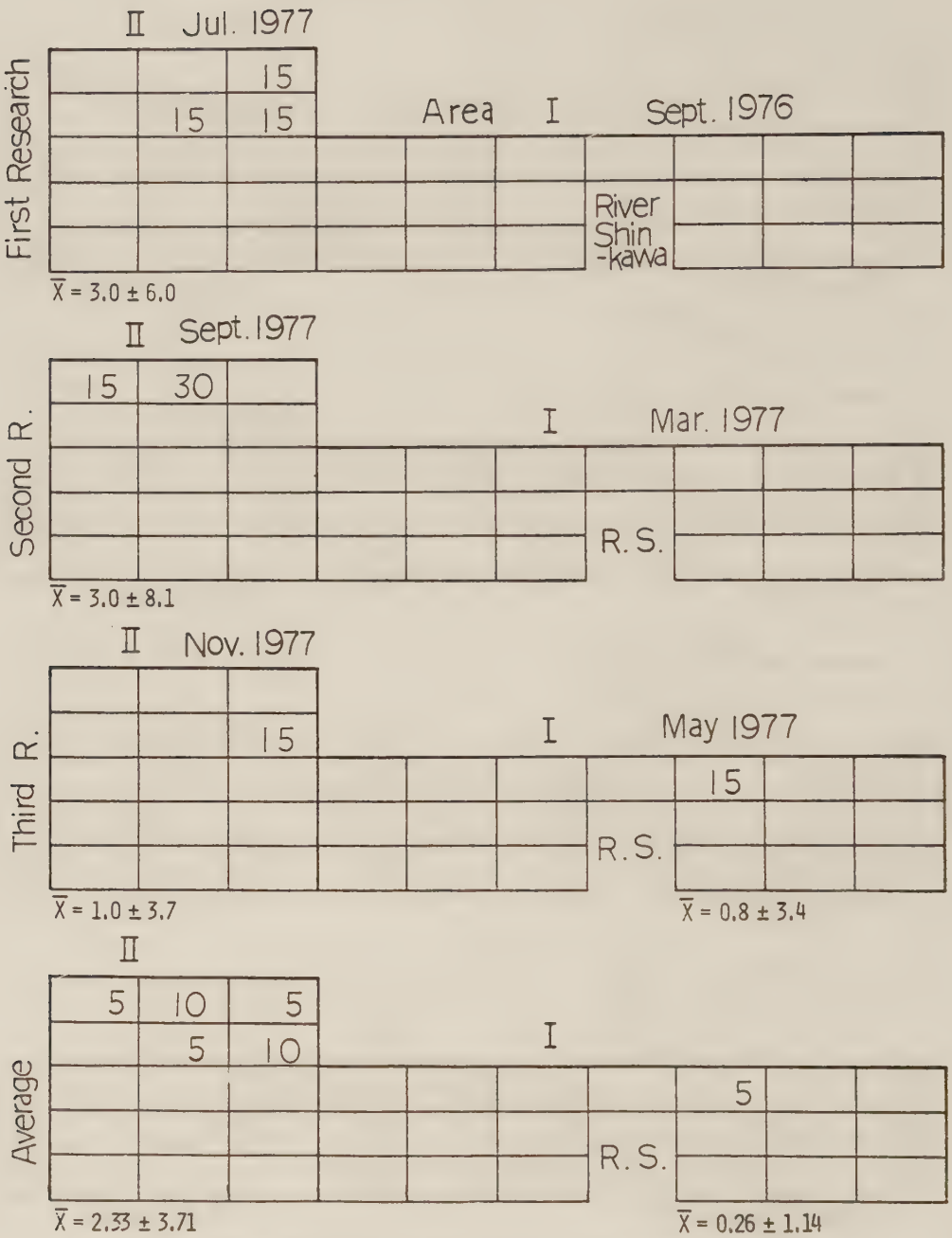
付図 16 水域Ⅰ，Ⅱにおけるマクロベントス中の甲殻類クマ目の区画別分布密度（個体数/m²），空欄は0
$\bar{x}$＝全区画平均±標準偏差

Distriburion density of Crustacea-Cumacea in each division of thr research area I and II.



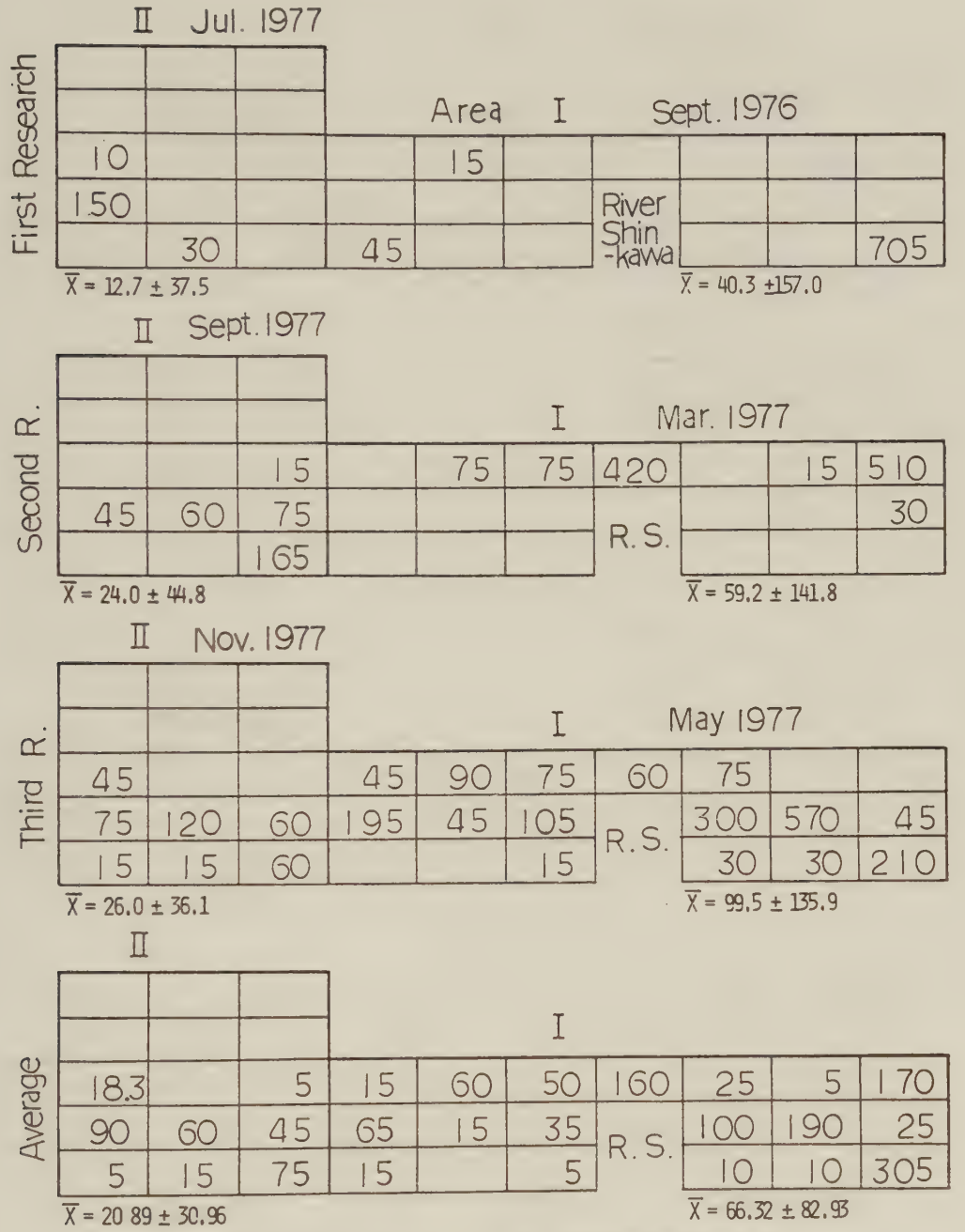
付図 17　水域Ⅰ，Ⅱにおけるマクロベントス中の棘皮動物の区画別分布密度（個体数/m²），空欄は 0
$\bar{x}$＝全区画平均±標準偏差

Distribution density of Echinodermata in each division of the research area I and II.



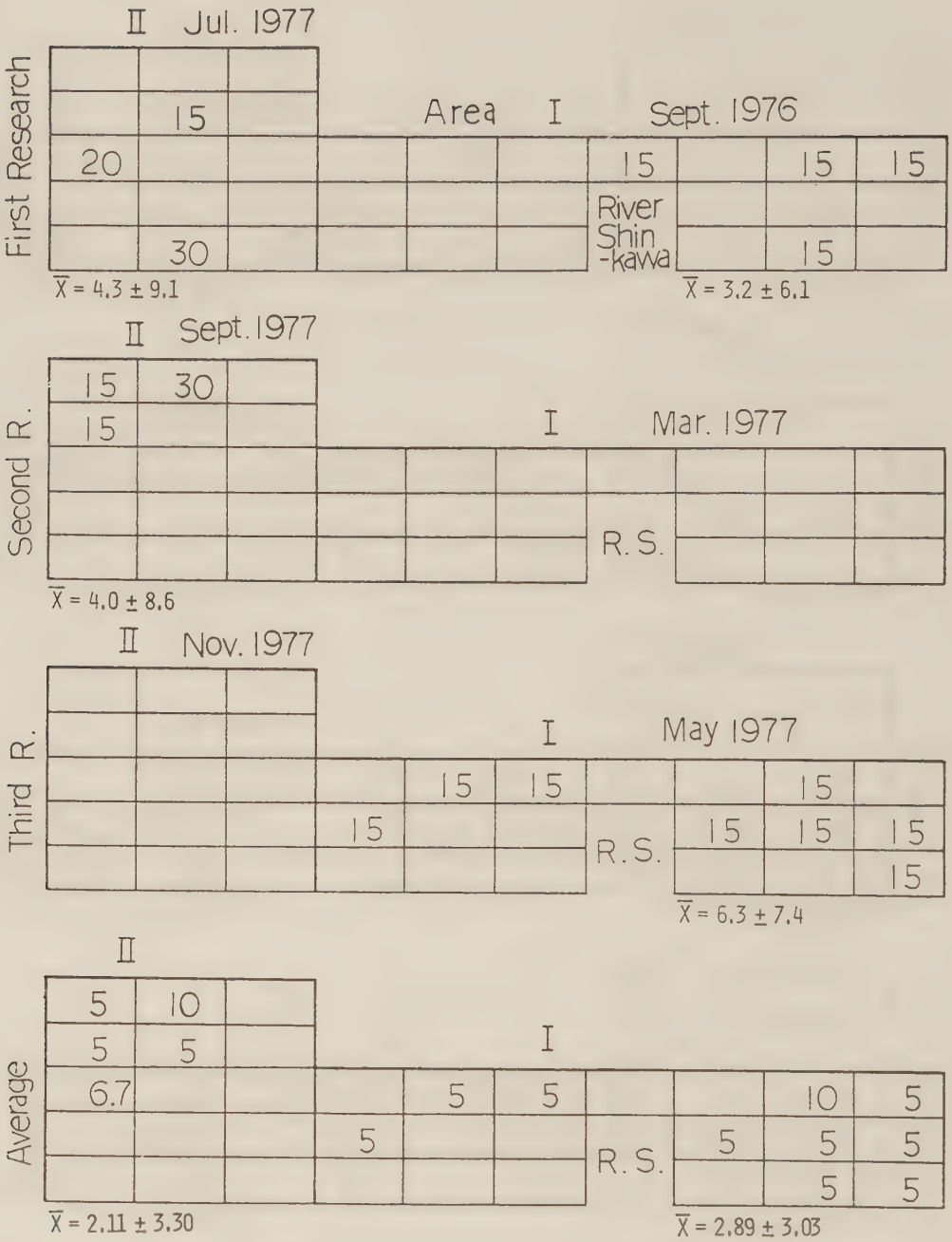
付図 18 水域Ⅰ，Ⅱにおけるマクロベントス中の棘皮動物蛇尾類の区画別分布密度（個体数/m²），空欄は0
$\bar{x}$＝全区画平均±標準偏差

Distribution density of Ophiuroidea-Echinodermata in each division of the research area I and II.



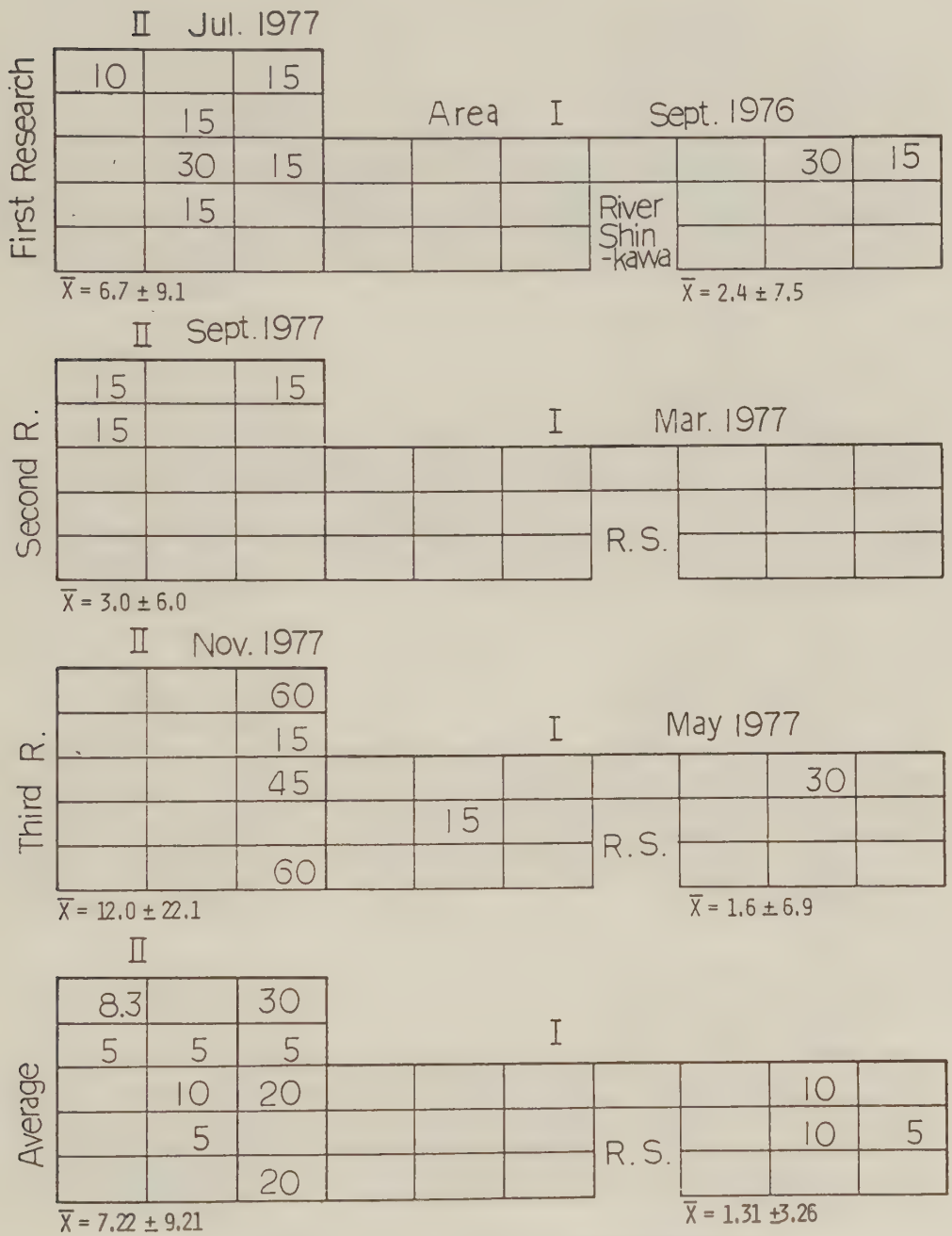
付図 19 水域Ⅰ，Ⅱにおけるマクロベントス中の棘皮動物海膽類の区画別分布密度（個体数/m²），空欄は 0
x̄＝全区画平均±標準偏差

Distribution density of Echinodermata-Echinoidea in each division of the research area I and II.



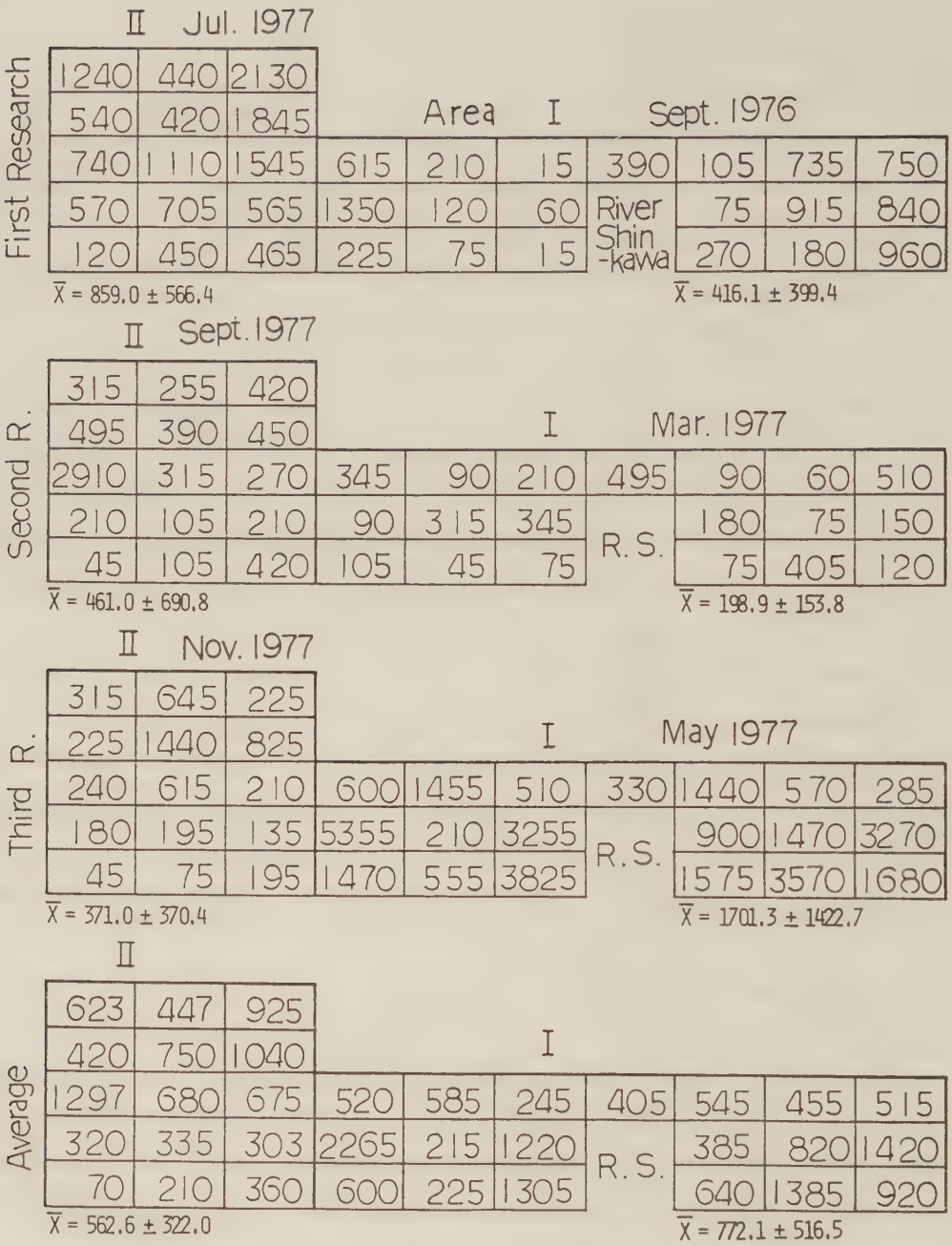
付図 20 水域Ⅰ，Ⅱにおけるマクロベントス中の袋形動物線虫類の区画別分布密度（個体数/m²），空欄は0
$\bar{x}$＝全区画平均±標準偏差

Distribution density of Aschelminthes-Nematoda in each division of the research area I and II.



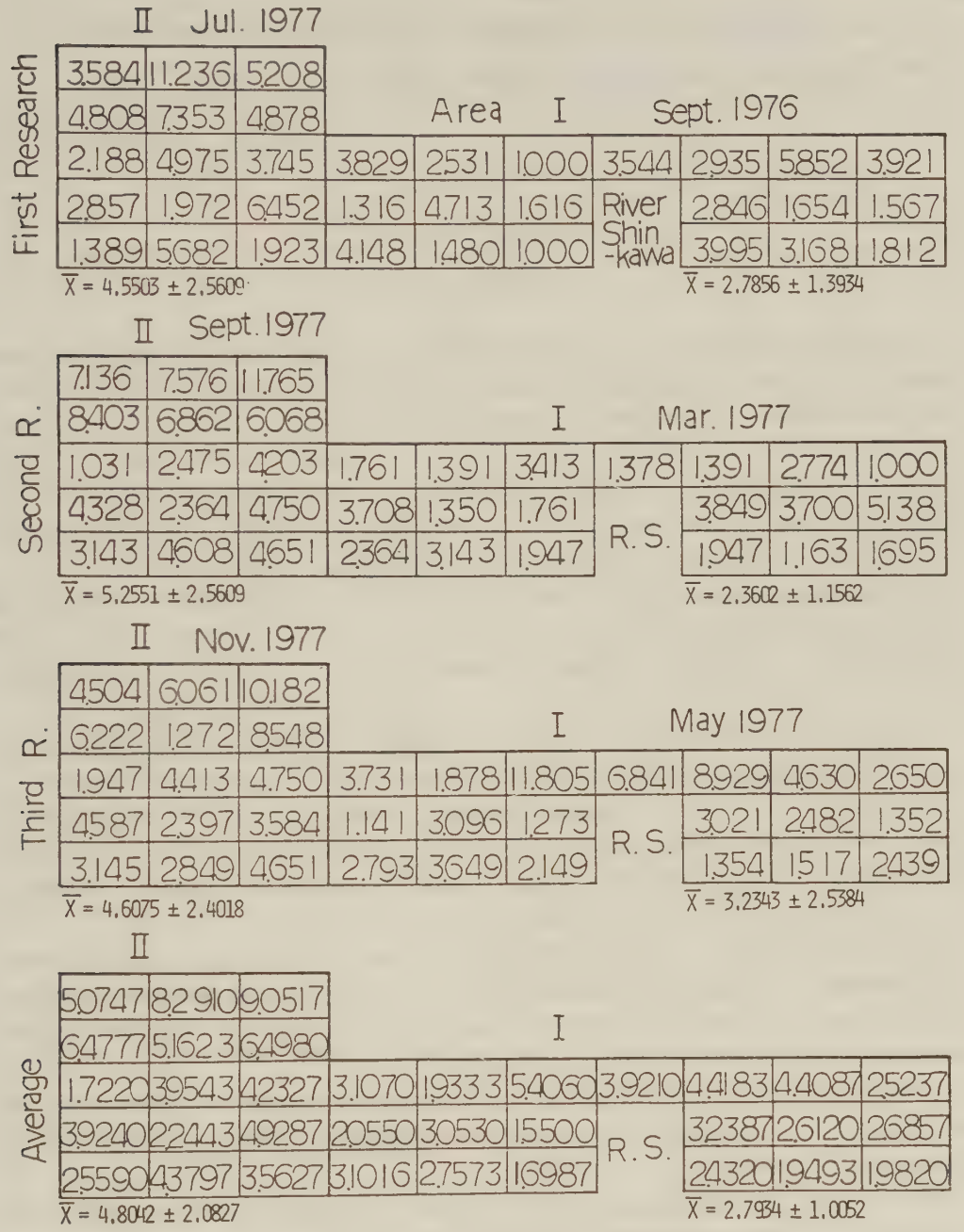
付図 21 水域Ⅰ，Ⅱにおけるマクロベントス中の星口動物星虫類の区画別分布密度（個体数/m²），空欄は 0
$\bar{x}$＝全区画平均±標準偏差

Distribution density of Sipunculida-Sipunculoidea in each division of the research area I and II.



付図 22 水域Ⅰ，Ⅱにおけるマクロベントスの区画別
分布密度（個体数/m²）
x̄＝全区画平均±標準偏差

Distribution density of total macro benthos in each division of the research area I and II.



付図 23 水域Ⅰ，Ⅱにおけるマクロベントスの区画別多様度指数
$\bar{x}$＝全区画平均±標準偏差

Diversity index of total macro benthos in each division of the research area I and II.

A Consideration of the Bottom Condition and the Benthos Fauna in the Shallow Water Area of the Sandy Beach

By

Yoshinobu YASUNAGA

Summary

Macro benthos are common food to fish and other marine animals, especially to juveniles of them. It is known, for examples, flatfish eat many kinds of macro benthos. In other words, it is neccessary to know the environmental conditions for propagation of food animals so as to propagate marine animals.

The benthos community and the bottom condition were studied at Igarashihama Beach in Niigata city from 1977 for the purpose of knowing relation between the distribution pattern of macro benthos and the bottom condition of the shallow water area of sandy beach.

The research area was divided to two parts, I and II. The area I was fixed around the mouth river of River Shinkawa and the area II contiguously on the right of the area I. Each area was divided to small parts composed of nineteen division in the area I and fifteen divisions in the area II.

The bottom sand was collected from each division. Next, granule size and organic matters of them were analized and macro benthos was sorted from the collected sand.

With regard to the bottom sand, medium granule size in the area I was bigger than in the area II on average through three times research. Mud percentage in the area I was the less than in the area II. Mud percentage in the area II increased in propotion as increase of the water depth, and attained twenty percent to thirty percent.

Correlation coefficient was high in the relation between medium granule size and concentration coefficient, between mud percentage and uniformity coefficient, and between ignition loss and carbon and nitrate amounts in the area I. In the same way, high between mud percentage and concentration coefficient in the area II.

On the other hand, converse correlation coefficient was high in the relation between medium granule size and mud percentage, and between medium granule size and concentration coefficient in the area II.

With regards to the composition of macro benthos, the dominant animal in the area I was Arthropoda–Crustacea and in the area II Annelida–Polychaeta. Average distribution density of macro benthos through three times research was seven hundred and seventy two individuals per square meter in the area I and five hundred and sixty two in the area II. Average diversity index in the same way four point eight in the area II and two point eight in the area I.

Correlation coefficient in the relation between the bottom condition and the distribution density of macro benthos was high in the relation between medium granule size and Mollusca

in the area I. In the same way, it was high between follow combination in the area II; mud percentage and Annelida, ignition loss and Annelida, concentration coefficient and Annelida, and nitrate amount and Mollusca. On the other hand, converse correlation coefficient was high in the relation beeen medium granule size and Annelida, and between mud percentage and Echinodermata in the area I.

水工研報告 4
1983 pp. 43～57

後流中の物質分散に関する研究-II

——矩形構造物の高さ・流速を変えた場合の交換率の変化——

杜多 哲*

目　次

1. 緒　言……43
2. 実験方法……43
2.1 実験方法……43
2.2 データ処理……44
3. 実験結果からみた各ケースの特徴……44
4. 構造物の高さ，流速の変化が交換率に及ぼす影響……45
4.1 交換率の算定……45
4.2 交換率の無次元化……46
5. 結　言……49
参考文献……50
Summary……51
付図……52

1. 緒　言

前報[1]において物体背後に生じる後流域と主流域との濃度交換は，簡単な交換モデルによってよく表わされることを示した。このモデルでは，実験によって求めるべき交換速度を意味するパラメーター（α）を含んでいた。

このパラメーター（以下交換率と呼ぶ）は，設置水深，流れの条件ならびに，構造物の形状，大きさによって変化すると考えられる。従って流れの場，あるいは構造物の形状，大きさが異なる場合には，前報で得られた交換率をそのまま用いて，主流域との交換を予想することはできない。

力学的な立場からは，こういった形状，流れによるはくり現象ならびにそれに伴う圧力降下の差異は，抗力係数という形で整理され，形状，レイノルズ数で分類され，実験的にその値が求められている。後流の環境的な指標の1つである交換率も，適切な無次元化を行うことにより，同様の整理をすることが考えられる。

本報告では，こういった立場から，構造物の形状としては，前報に引続き矩形を選び，その高さ，主流流速を変化させた場合の交換率を実験的に求めることにより，各因子と交換率との関係について考察を行なった。

実験は当時東京大学学生であった樋口明彦氏ならびに東海大学研修生であった今村均氏と共同で行なった。また，環境改変研究室長の萩野静也氏には，研究を進める上で御協力，御助言を載いた。ここに記して感謝の意を表する。

* 水産土木工学部

2. 実験方法

2.1 実験方法

実験装置ならびに方法は，前報とほぼ同じである（図6参照）。水深（80 cm），構造物模型幅（10 cm）は一定とし，構造物高さならびに，主流平均流速を変化させた。表1に実験ケースをポす。構造物高さと平均流速から得られるレイノルズ数は，1.04×10^4～7.2×10^4 の範囲である。

全13ケースのうち，CASE 1－0 および CASE 1－3 については，構造物周辺の流速分布のみを測定し，CASE 1－4 では，構造物周辺に濁度計を設置し，構造物前面で投入した染料の濃度変化のみを測定した。なお CASE 1－4 では，流量計の不調により，流量の測定は行なっていない。表中の平均流速は，構造物前面（$X=-120$ cm）と後方（$Y=600$ cm）との相互相関が最大になる遅れ時間で距離（720 cm）を除して求めたものである。

その他のケースについては，構造物周辺の測点で流速を測定するとともに，構造物前面で投入した染料の濃度変化を測定した。測点は水路中央鉛直断面上に，原則として x 方向は $x/H=1$, 3, 7.5, 10, 12.5, 15, 17.5, 20 の

表1 実験ケース
Test condition

CASE		流量 Q (ℓ/S)	平均流速 U (cm/S)	構造物高さ H (cm)	構造物/水深 H/D	Re数 (Re=UH/ν)	測定項名 流速分布	測定項名 濃度変化	交換率 α
1	1—0	125	10.4	0	0	0	○	—	—
	1—1	125	10.4	10	0.125	10400	○	○	0.029
	1—2	125	10.4	20	0.25	20800	○	○	0.023
	1—3	125	10.4	30	0.375	31200	○	—	—
	1—4	—	14.9*	30	0.375	44700	—	○	0.027
2	2—0	205	17	0	0	0	○	○	—
	2—1	205	17	10	0.125	17000	○	○	0.052
	2—2	205	17	20	0.25	34000	○	○	0.037
	2—3	205	17	30	0.375	51000	○	○	0.028*
3	3—0	290	24	0	0	0	○	○	—
	3—1	290	24	10	0.125	24000	○	○	0.067
	3—2	290	24	20	0.25	48000	○	○	0.051
	3—3	290	24	30	0.375	72000	○	○	0.046

注）1. 平均流速は流量を通水断面積で除して求めた。CASE 1–4については，染料投入後の構造物前面（X＝120 cm）と後方（X＝600 cm）との相互相関が最大になる遅れ時間より算出した。
2. CASE 2–3の交換率αは0.028となっており，前報の値0.026と若干異なる。これは前報では相互相関からαを算出しているのに対し，今回はすべて生データから直接算出していること，ならびに前回は，フリーハンドによる直線の傾きから得ているのに対し，今回は最小自乗法によっていることによるものと考えられる。

位置に，Y方向はY＝70 cmから10 cmおきに設けた。また構造物の影の部分は，より細かく測点をとった。

測定時間は流速については1分以上，濁度については染料放出直前から染料液が観測区域から流出し，濁度計の出力電圧が安定するまでとした。

濁度計については各ケースの実験前後で検定を行なった。また，流速計は適時曳行台車による検定を行なった。

用いた記号の意味，座標系は前報と同じである。

2.2 データ処理

流速・濁度とも測定結果は，マルチコーダーに出力し，カーブリーダにより，0.2秒のサンプリング間隔でデジタル化した。ただし，一部のケースについては，測定結果をデータレコーダーに収録し，0.2秒のサンプリング間隔でAD変換を行なった。またCASE 2—3は前報の測定結果を用いたため，流速のサンプリング間隔が1.5秒間で，0.5秒間の平均流速を用いており，濁度のサンプリング間隔は0.5秒である。

デジタル化したデータは，検定値により流速（cm/sec），濃度（p.p.m）に換算し，これを基礎データとした。この基礎データより，流速・濃度について以下のような処理を行なった。

a． 流速データの処理

各測点での流速データから時間平均流速$\bar{u}$（局所平均流速とよぶ），乱れの強さ$(\overline{u'^2})^{1/2}$，及び乱れを$\bar{u}$で無次元化した相対的乱れを算出し，それぞれについて等分布線図を作成した。

b． 濁度データ

染料投入実験をくり返すと，実験水槽が回流式であるため，水槽全体の基準濃度がわずかに上昇する。実験に用いた濃度範囲では，濃度—電圧の関係は直線関係を示していたことから，染料投入前の濃度を基準として，それからの増加分を求めた。さらに投入染料の量の微小なばらつきを補正するために構造物前面での濃度の時間変化のうち矩形状に立ち上がった部分の平均値を求め，これで同一の染料投入時に測定した各測点濃度を無次元化した。この操作によって，全測定データを同一条件下での測定データとみなせるものとした。また各測点について構造物前面の濃度変化との自己・相互相関関数を求め，相関関数の最大値（C_{ij}）とその時の遅れ時間（lag time）を求め等分布図を作成した。

図1に，データ処理を行なった結果の1例を示す。

3. 実験結果からみた各ケースの特徴

表1に示す13ケースについて実験を行なった結果を付図に示す。これらの図から読みとれる各ケースの特徴を

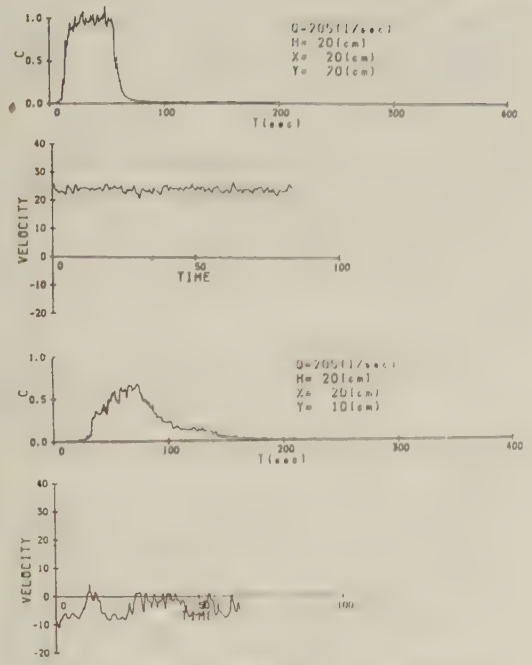


図 1　流速および濃度データの1例(CASE 2-2)（上より X＝20 cm, Y＝70 cm における濃度変化，流速ならびに X＝20 cm, Y＝10 cm における濃度変化，流速）

An example of measurement of concentration and velocity

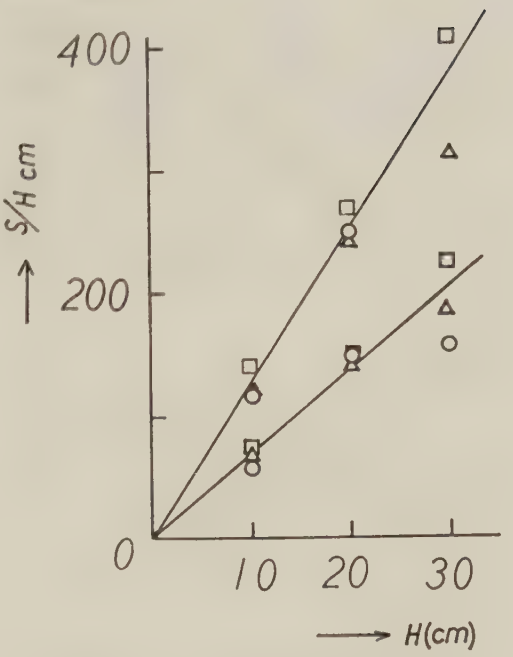


図 2　$\bar{u}=0$ ならびに $\sqrt{\overline{u'^2}}/|\bar{u}|=1$ で囲まれる領域の比較
□：CASE 1
○：CASE 2
△：CASE 3

Relationship between H and S/H
upper line : area within $\sqrt{\overline{u'^2}}/|\bar{u}|=1$
lower line : area within $\bar{u}=0$

挙げると以下の3項目となる。

(1)　CASE 1—0, 2—0, 3—0 の実験結果より，構造物を設置しない場合，観測区域内の流れは，ほぼ一様となっており，乱れも，主流流速の 10% 程度以内である。またそれに伴って，構造物前面での濃度の時間的変化と，各測点での濃度の時間的変化とは，高い相関を示している。このことは，観測区域内での拡散は近似的に無視でき，この区域での濃度輸送が，ほぼ移流のみによっているとみなしてよいことを示すと考えられる。従って構造物を設置した場合の各図は，そのまま構造物による流れ，濃度輸送の変化を示すものとして，以下の考察を行なった。

(2)　構造物を設置した場合の流速，濃度輸送の変化の特徴は，前報の結果と定性的にはほぼ同じであり，平均流速が速く，乱れが小さく，移流の卓越する領域 I，後流的性格が強く平均流速が小さく，相対的に乱れが大きくて，拡散の卓越する領域 III，その中間的な特徴をもち，剝離渦の通過していく領域 II が認められる。

(3)　上で述べた各領域は，はっきりと分かれるわけではなく，一定の幅をもち段階的に変化するものである。従って本研究のように，マクロ的に後流域の濃度輸送を議論しようとする場合には，各領域に対する何らかの基準を設ける必要がある。ここでは，後流域の1つの基準として，$\bar{u}=0$ の線，ならびに $\sqrt{\overline{u'^2}}/|\bar{u}|=1$ の線をとり，その境界線より，構造物側の領域の大きさを比較した。その結果を図2に示す。図より，各流速とも，構造物の高さ H が増大するほど，S/H (S：面積) が，ほぼ直線的に増加していることがわかる。このことは後流域の大きさが，ほぼ相似であることを意味している。H=30cm の場合には，かなりのばらつきが見られるが，流速測定のメッシュ間隔が構造物から離れると粗くなり，粗いところでは，横方向に，構造物高さの2倍あることを考えると，これについての原因をここで追求することはできない。

4.　構造物の高さ，流速の変化が交換率に及ぼす影響

4.1　交換率の算定

これらの実験結果から，前報で述べた考え方に従って交換率を算出した。交換率の算定法として，濃度変化そのものより求める方法と，相互相関から求める方法とが

あるが，今回は，全て濃度変化から直接求める方法によった。解析に用いた現象モデルは図6に示す。

前報によれば後流域（領域Ⅲ）の濃度変化は，投入条件より決まる領域Ⅰの濃度変化が

$$C_{\mathrm{I}}(t)=\begin{cases}C_m & (0\leqq t\leqq b)\\ 0 & (b\leqq t)\end{cases} \quad \cdots\cdots(1)$$

で表わされるとき

$$C_{\mathrm{III}}(t)=\begin{cases}C_m(1-\mathrm{e}^{-\alpha t}) & (0\leqq t\leqq b)\\ C_m(1-\mathrm{e}^{-\alpha b})\mathrm{e}^{-\alpha(t-b)} & (b\leqq t)\end{cases} \quad \cdots\cdots(2)$$

と表わされる。

ここに

$\alpha=Q/V_{\mathrm{III}}$

Q：領域Ⅰ（主流域）と領域Ⅲ（後流域）との単位時間当りの交換量

V_{III}：領域Ⅲの容積

であり，単位時間当り，領域Ⅲの容積に対してどれだけの水が交換されるかを示す交換率である。

従って，$b\leqq t$ における濃度実測値から，交換率 α を求めることができる。

後流域（領域Ⅲ）としては，各ケースとも $\bar{u}\leqq 0$ の領域をとった。領域内に含まれるすべての測点での濃度測定値の平均をとり，領域Ⅲの濃度変化を代表するものとした。平均化に際しては各測点の代表面積によって加重平均処理を行なった。

領域Ⅰについては便宜上 $1\leqq X/H\leqq 3$，$1.5<Y/H$ の範囲に含まれる測点の代表面積による加重平均をとり，値が最大となり安定している部分の平均を C_m とした。また染料放出時間がほぼ50秒で安定しており，領域Ⅰの各測点における測定値も約50秒の間最大値をとっていることから，b は一律50秒とした。なお，ここで用いた濁度測定値は，データ処理の項で述べたように基準点をもとに無次元化してある。測定値に矩形をあてはめた一例を図3に示す。

α は便宜的に領域Ⅲの代表値が最大となる点から6秒後と42秒後の間の値について対数をとり，最小二乗法によりその傾きを求めて決定した。

各ケースについて，得られた α，C_m 及び b を（2）式に代入して求めた計算値と実験値を対比させて図4に示す。実線は計算値，○は実験値をそれぞれ表わしている。図より明らかに両者はよく一致しており，交換モデルに妥当性があるといえる。表1に各ケースの α を示した。

4.2　交換率の無次元化

得られた交換率の値は $\alpha=0.022\sim0.067$ の範囲にわたっている。ここでは，この値が，どういった要因によって規定されているかについて考察し，交換率を統一的に表現することを考える。

いま現象を規定している変数としては，主流流速 U，水深 D，構造物高さ H，その他に水面形状，構造物幅 B，主流域の境界層の厚さ δ が考えられる。これらのうち，δ については，実験結果より，$H>\delta$ であることから考慮しない。また構造物幅 B については，$B/H<1$ の場合，矩形柱後流のストローハル数（S_t 数，$S_t=fH/U$：f は後流の速度変動の周波数）および抗力係数がレイノルズ数（R_e 数，$R_e=UH/\nu$；ν は流体の動粘性係数）が 10^4 以上の範囲でほとんど一定であることから，その影響を無視することができる。また水面形状の影響については，水深・構造物比 H/D が小さいことから無視する（これは同時に重力の影響を考えないことをも意味する）。

従って現象に関与する変数を整理すると

・形状，あるいはスケールを表わすパラメータ……H，D（あるいは $D-H$）

・流れの場を表わす変数……U

・物理定数的パラメーター……ν

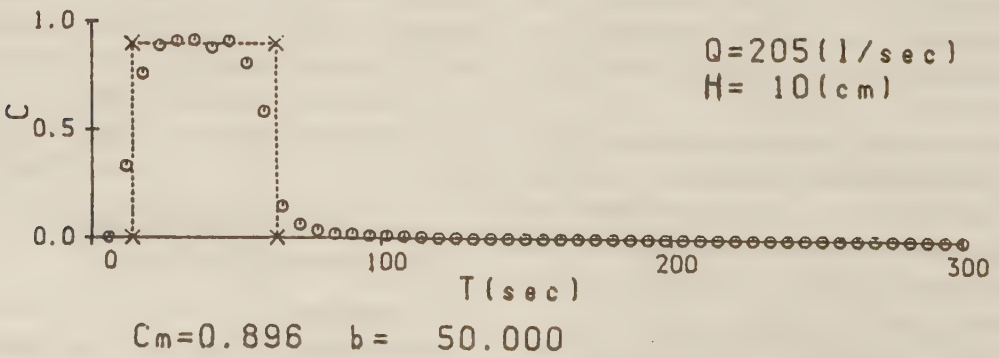
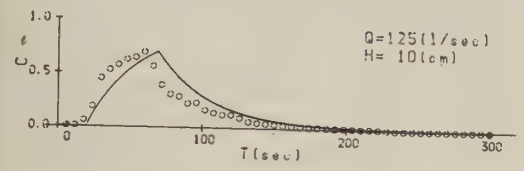
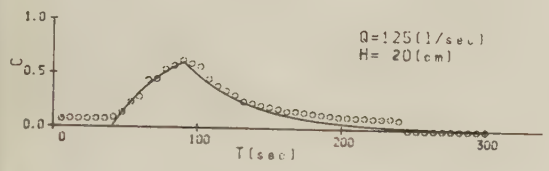


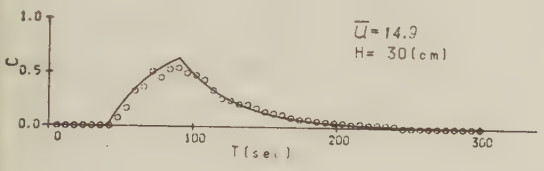
図3　領域Ⅰにおける濃度変化への矩形のあてはめの一例（CASE 2-1）

An example of concentration change in regoin I

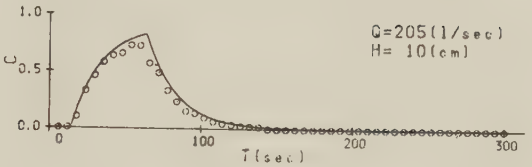
CASE 1

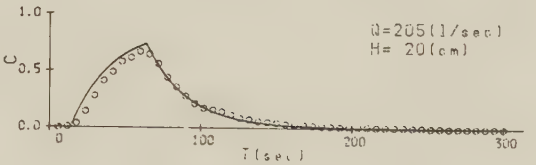


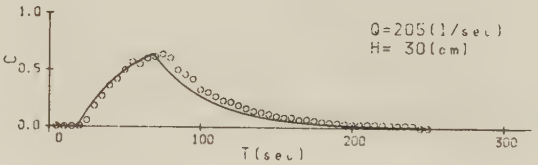




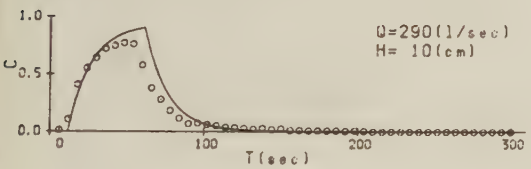
CASE 2

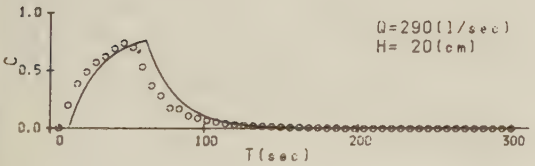






CASE 3





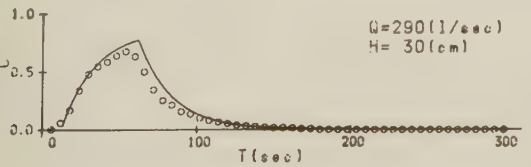


図 4　実験値と計算値の比較
—：計算値　　○：実験値
(横軸の時間原点は測定開始時間であり，本文中の t=0 は，計算値が立ち上がる点に相当する)

Comparison between calculated and measured concentration change

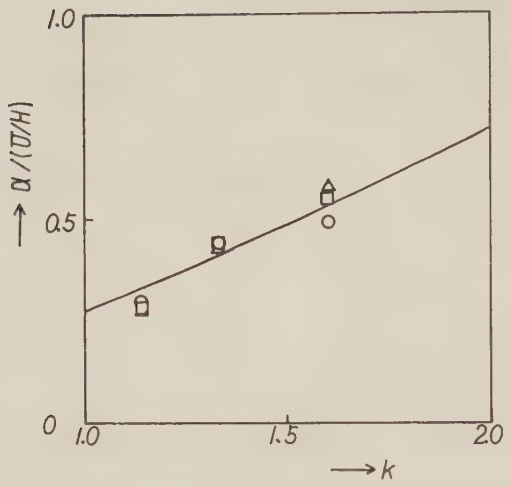


図 5　k (=D/(D-H)) と α/(U/H)
□ CASE 1
○ CASE 2
△ CASE 3
Relationship between k and α/(U/H)

・従属変数に相当する交換を表わすパラメーター……
…α

となる。

従って交換率 α は，これらの変数から得られる無次元パラメーターで表わされ，φ を未知の関数として

$$\frac{\alpha}{U/H}=\phi\left(\frac{D}{D-H},\ \frac{UH}{\nu}\right) \quad \cdots\cdots(3)$$

となる。

実験結果より横軸に $D/(D-H)$，縦軸に α をとり整理したのが図5であり，これから α が $D/(D-H)$ の関数であることが読みとれる。また，この実験範囲内では，レイノルズ数の違いによる系統的な差異は認められない。

実験結果より，α が $D/(D-H)$ の関数であることが分ったが，次にその関数形について物理的に考察する。

図6において領域ⅠとⅢが，剝離渦による濃度輸送を介して交換を行なっていると考える。

交換率 α は定義より

$$\alpha=Q/V_{\mathrm{III}} \quad \cdots\cdots(4)$$

Q：単位時間当りⅠとⅢの交換量

V_{III}：領域Ⅲの容積

である。実験結果より後流域の長さ（L, L'）は H に比例しているから，単位時間・単位面積当りの交換量を q (cm/sec) とおけば

$$\alpha=\frac{Q}{V_{\mathrm{III}}}\approx\frac{WnHq}{WmH^2}\approx\frac{q}{H} \quad \cdots\cdots(5)$$

となる。

q に関与する量としては渦の強さ，ならびに渦の流下

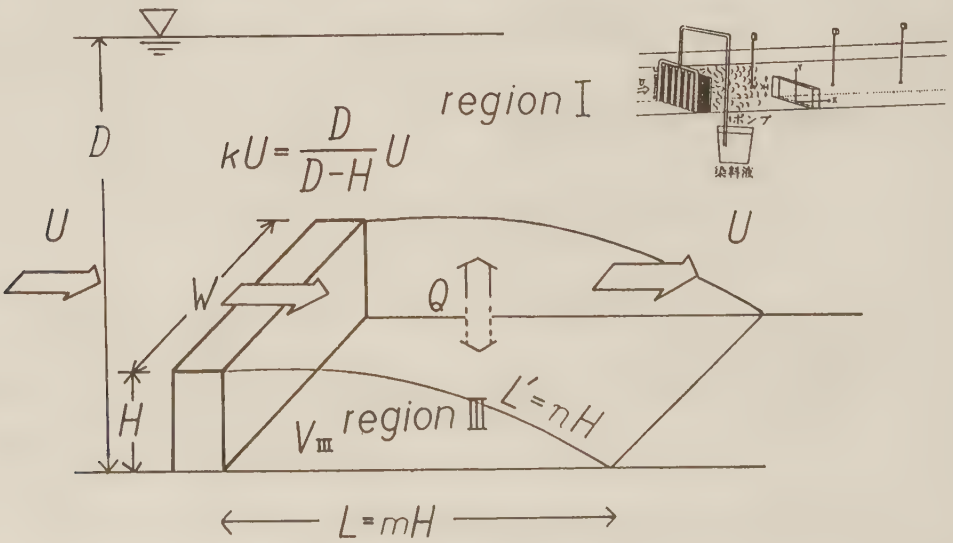


図 6　交換模式図
W：構造物の長さ
L, L'：後流域の長さ
m, n：定数
Scheme of exchange

速度が考えられる。この渦は，構造物での境界層の剝離によっていると考えられ，これに関与する流速は縮流部流速 kU ($k=D/(D-H)$) である。循環の発生する割合 $f\cdot\Gamma$ (f：発生周波数，Γ：循環) と，渦度 kU の運ばれる割合（速度 $1/2\,kU$）$1/2\,k^2U^2$ との間には

$$f\Gamma\approx k^2U^2 \quad \cdots\cdots(6)$$

の関係の成り立つことが考えられる[2]。

この発生した循環が，V の速度で流下するとすれば，領域Ⅲの外縁における，単位長さ当りの循環密度は，$f\Gamma/V$ で表わされる。これが q に比例すると考えると

$$q\approx\frac{f\Gamma}{V}\approx k^2U^2/V \quad \cdots\cdots(7)$$

渦の流下速度 V が，U に比例すると考えると

$$q\approx k^2U \quad \cdots\cdots(8)$$

$$\therefore\quad \alpha\approx k^2U/H \quad \cdots\cdots(9)$$

を得る。また $V\approx kU$ と考えると

$$q\approx kU \quad \cdots\cdots(10)$$

$$\alpha\approx kU/H \quad \cdots\cdots(11)$$

が得られる。渦の流下速度についての測定は行なっておらず，この関係のどちらがより現象を表現するかは明らかではないが，渦の平均流下速度は，この中間的なものと考え平均をとると

$$V\approx\frac{U+kU}{2}=\frac{U(1+k)}{2} \quad \cdots\cdots(12)$$

$$q\approx\frac{2k^2U^2}{U(1+k)}=\frac{2k^2U}{1+k} \quad \cdots\cdots(13)$$

$$\alpha\approx\frac{2k^2}{1+k}\frac{U}{H} \quad \cdots\cdots(14)$$

あるいは

$$\frac{\alpha}{U/H}\approx\frac{2k^2}{1+k} \quad \cdots\cdots(15)$$

と，表わされる。式(9)，(11)，(15) では，最後のものが，物理的に最も妥当であると考えて，図5で示される実測値に(15)式のあてはめを行ない実験定数を定めて図中に示した。実測値はよく表わされている。k の値はその定義から，$k>1$ であり，また実用的に $k<1.7$ ($H/D<0.4$) と考えることができ，実験は，ほぼこの範囲と一致していることから，(15)式によって，交換率の予測を行ないうると考えられる。

(15)式を係数をも含めて再度書くと

$$\alpha=0.027\left(\frac{2k^2}{1+k}\right)\left(\frac{U}{H}\right) \quad \cdots\cdots(16)$$

この形で実測値と比較した結果を図7に示す。ここで得られた係数 $\alpha_0(=0.027)$ は，無次元交換率という意味合いをもつ。

Valentine 等[3] は水路にくぼみ部（長さ l，深さ d）を設け，そこに投入された塩分濃度の時間的変化を測定

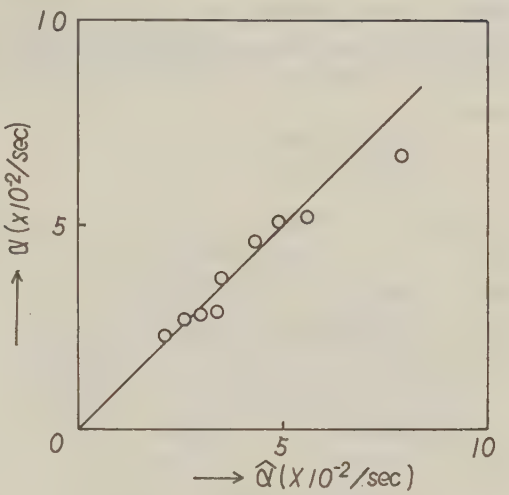


図7　推定交換率 ($\hat{\alpha}$) と実測交換率 (α)

Relationship between $\hat{\alpha}$ and α

することにより，$1\leqq l/d\leqq 6.7$ の範囲で，$\alpha_0\fallingdotseq 0.02$ という実験結果を得ている。今回の実験は，流下方向には開放された実験であり，直接比較することはできないが，得られた数値の類似は，この2つの場合の水質交換機構の類似性を推察させる。

5. 結　　言

矩形構造物背後の後流域の流速分布，濃度輸送の特徴を実験的に調べ，以下の結論を得た。

① 構造物を設置した場合の流速の変化，濃度輸送の変化は，定性的には，前報と同じであり，次の3つの領域が認められる。

- 領域Ⅰ：平均流速が大きく，相対的に乱れが小さい主流部であり，濃度は移流で運ばれる領域
- 領域Ⅲ：平均流速が小さく，相対的に乱れが大きくて，拡散の卓越する領域
- 領域Ⅱ：上の2つの領域の中間的な性格をもち，剝離渦の通過していく領域

② $\bar{u}=0$ あるいは $\sqrt{\overline{u'^2}}/|\bar{u}|=1$ を指標とした場合，各ケースとも，後流の大きさは相似性が保たれていた。

③ 前報で得られたモデルは各ケースともよく現象を表現しており，この考え方の妥当性をぶしていた。

④ 得られた交換率について，次元的な考察ならびに物理的考察を行った。その結果，実用的な実験式として(16)式を得た。

以上のことから，幅のせまい矩形構造物という限られた形状のものについてではあるが，流れの場に設置され

た場合の，主流域との物質の交換について，一応予想が可能になったと考えられる。この結果の水産への応用の例としては，一度後流中にとり込まれた物質の平均滞留時間が，

$$T=\frac{1}{C_0}\int_0^\infty C_0 e^{-\alpha t}dt=\frac{1}{\alpha}\quad(\mathrm{sec})$$

で定義され[4]，これは濃度が e^{-1} に減少するまでの時間と等しいことから，水産生物の浮遊幼生期の長さ，産卵場からの到達時間等とこの滞留時間とを組み合わせることにより，増殖場造成の規模等に関しての1つの目安を与えることに用いることが考えられる。今後の問題としては，対象とする生物の選択性について，定量的に明らかにする必要がある。特に，後流域は，流速が小さく，相対的に，生物の選択行動能力が増大すると考えられるが，その中でも構造物との位置によって微妙な変化がある。

浮遊幼生の着底に関与する流速は，相対値ではなく，絶対値であると考えられるから，海域，種ごとに適正な構造物規模が存在することも考えられる。こういった生物の選択性を定量的に把握するとともに，その種に適した，構造物の形状配置等を研究していくことが今後必要である。

参考文献

1） 杜多哲：後流中の物質分散に関する研究—濃度を指標としてみた後流域の特性と交換率の評価—，水工研報告3，1982

2） 谷一郎：流れ学，岩波書店，pp. 89，1972

3） Valentine, E.M., and Wood, I.R. : Longitudinal Dispersion with Dead Zones, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 103, No. HY9, Proc. Papar 13208, Sept., 1977, pp. 975—990

4） 宇野木早苗：海水交換とその素過程について，沿岸海洋研究ノート 第17巻，第2号，1980

On the Characteristics of Water Exchange in the Wake (II)

—— Non Dimensional Expression of the Coefficient of Exchange ——

Satoru TODA

Summary

In the previous paper, simple exchange model between main flow and wake is introduced to express the environmental effect of wake. In this paper, the change of coefficient of exchange is examined related to the main flow velocity and the height of the rectangular model. The results of experiments are as follows:

(1) The change of the concentration of each point corresponds well with velocity field, and the area behind the model is classified into three regions.

regon I: regions of potential flow, where the mean velocity is strong and $(\overline{u'^2})^{1/2}/|\bar{u}|$ is small, the dye transport is mainly done due to convection.

region II: intermediate region of I and III, where the vortex generated at the edge of the model passes.

region III: region of wake, where the mean velocity is weak and $(\overline{u'^2})^{1/2}/|\bar{u}|$ is large, the dye transport is mainly done due to diffusion.

A simple model of the water exchange can explain the change of the dye concentration of region III. (Fig. 4) These results are same as in the previous paper.

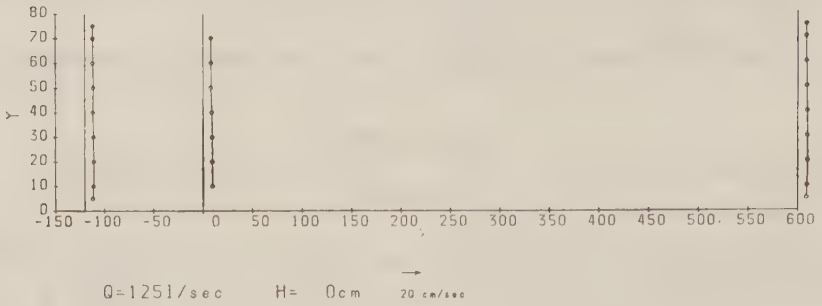
(2) The volume of region III defined as the volume of $\bar{u}=0$ or $(\overline{u'^2})^{1/2}/|\bar{u}|=1$ is symmetrical in each case. (Fig. 2)

(3) From the consideration of dimention, and the mechanism of exchange, the coefficient of exchange (α) is presented as eq. (16), and the nondimensional coefficient of exchange (α_0) is universal constant.

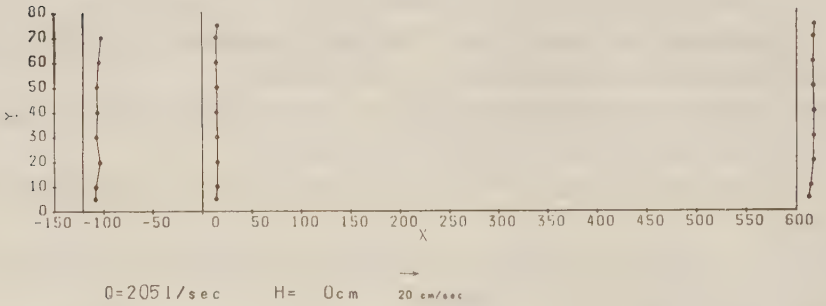
From these results we can estimate the coefficient of exchange (α) when the rectaugular bluff model is set perpendicular to main flow.

局所平均流速の鉛直分布

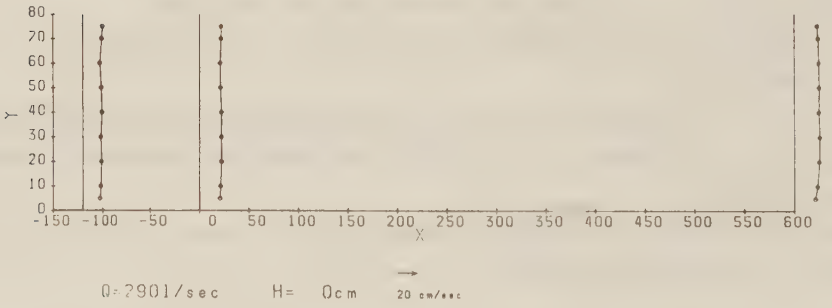
CASE 1-0



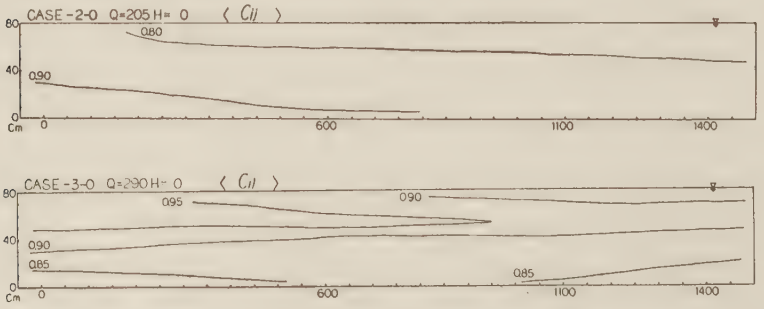
CASE 2-0



CASE 3-0

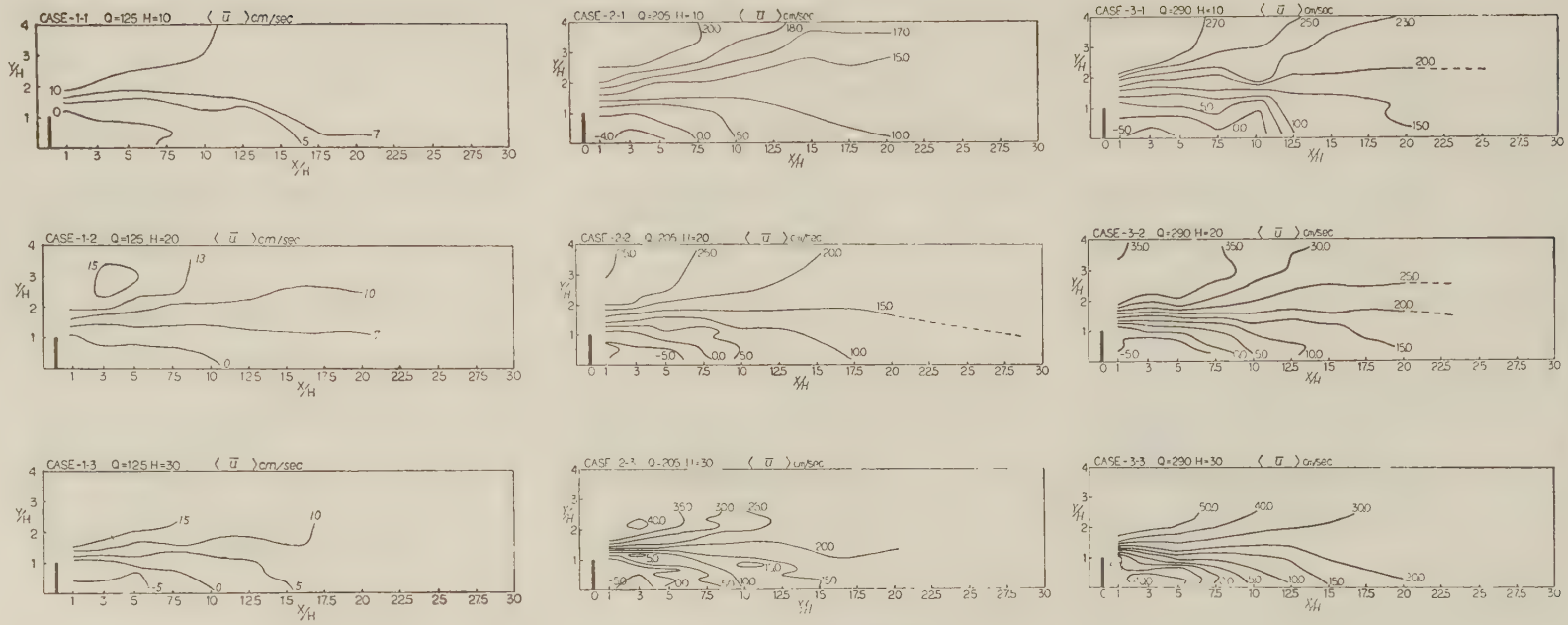


相互相関最大値の等分布線図



付図 1 H=0 の場合の平均流速と相互相関

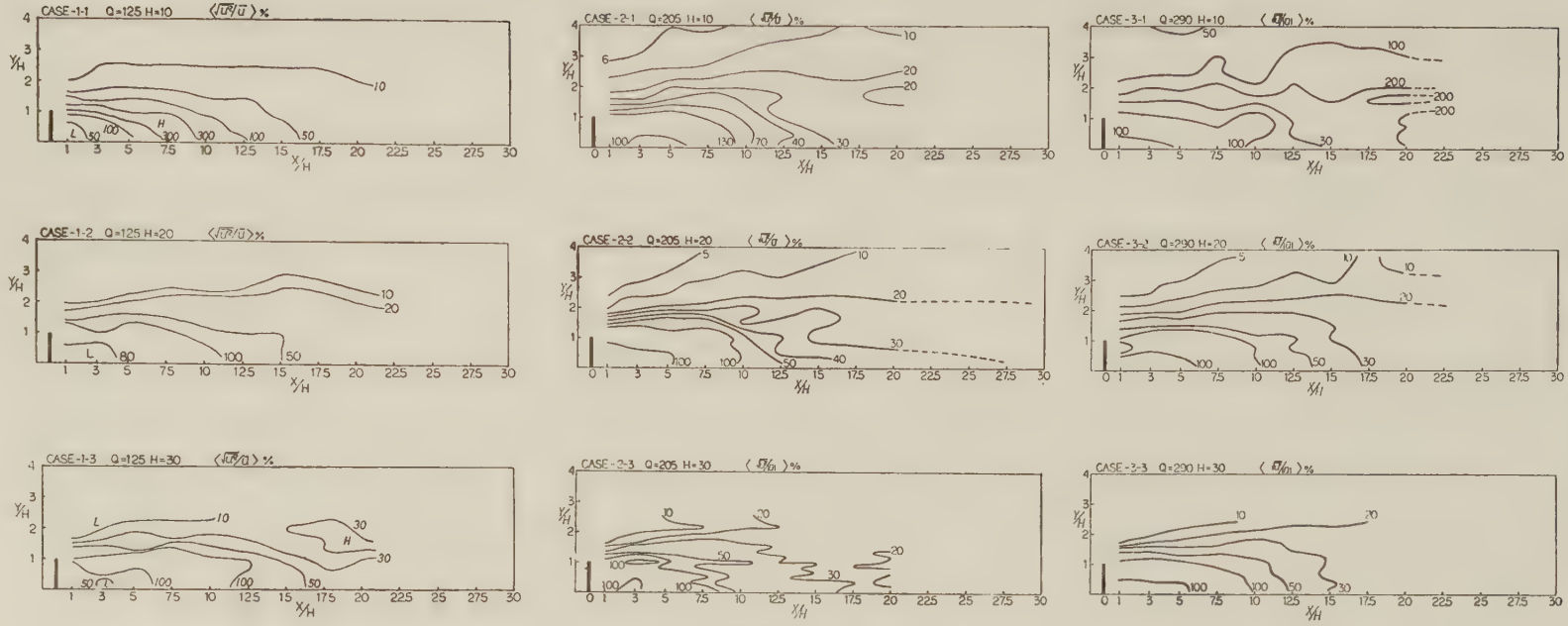
Mean velocity profile and contours of max of cross relation function



付図 2　ū の等分布線図

Contours of ū

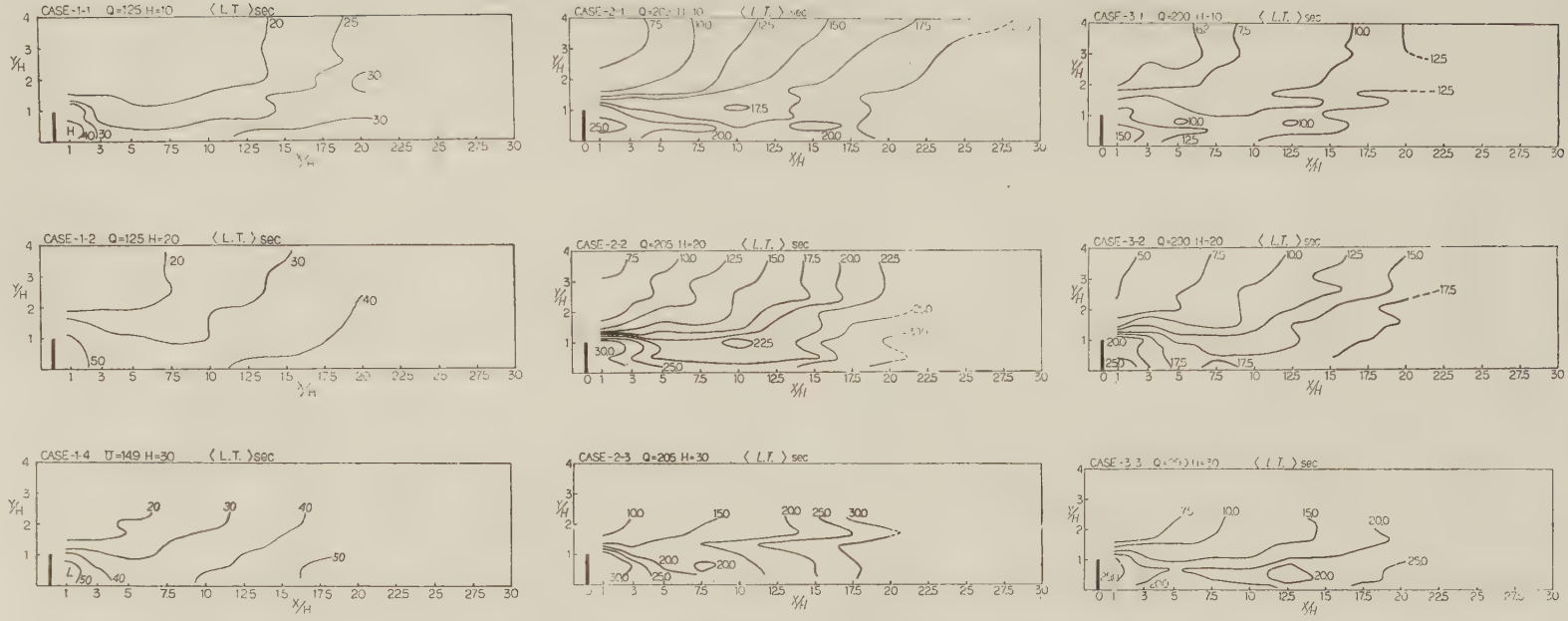
付図 3 $\sqrt{u'^2}$ の等分布線図
Contours of $\sqrt{u'^2}$



付図 4 $\sqrt{\overline{u'^2}}/|\bar{u}|$ の等分布線図

Contours of $\sqrt{\overline{u'^2}}/|\bar{u}|$

付図 5 C_{ij} の等分布線図
Contours of max of C_{ij}



付図 6　lag time の等分布線図 (C_{ij} が max となる lag time)

Contours of lag time

水工研報告 4
1983 pp. 59～71

人工魚礁の着底衝撃力に関する研究(II)

——岩盤・コンクリート基盤での着底——

秀島好昭*・上北征男*

目　次

1. 緒　言……59
2. 魚礁落下実験……59
2.1 実験の概要……59
2.2 試料の力学的性質……61
2.3 落下実験結果……61
3. 考　察……63
3.1 地盤の力学的特性……63
3.2 魚礁部材の応力……64
3.3 着底時の部材応力の推定法……68
4. 結　言……69
参考文献……70
Summary……71

1. 緒　言

人工魚礁の構造設計に用いる設計外力は，魚礁の製作から設置に至るまでの各作業段階での作用外力のなかから選択される。作用外力の大きなものをあげれば，運搬時・積込み積下し時・海底への着底時に生じる外力である。そのうちに海底着底時に大きな衝撃力が作用し，大きな部材力が生じて危険な場合が多い。

この着底衝撃力は，魚礁単重・着底時の速度・海底地盤の反力係数・着底時の魚礁面の形状によって決まる。またこのときの部材応力の計算には，海底への衝突時の慣性抵抗を静換算重量の形に置換え静力学的構造設計を行う方法が考えられ，その手法については先に著者の一人は報告[1]を行っている。

本報告には，魚礁の空中落下実験による，

① 先に不明であった岩盤およびコンクリート基盤の力学定数の推定。

② 着底時の部材のひずみを計測し，その結果を利用して従来の設計手法[2]の細部検証を行ったもので，その結果について述べる。尚，この研究は岩手県林業水産部漁業振興課の協力を得て行ったもので，多くの方々の支援に対し，ここに謝意を表する。

2. 魚礁落下実験

2.1 実験の概要

昭和56年10月29・30日に岩手県大船渡地先の露岩地帯で魚礁供試体を空中より自然落下させ，着地時に魚礁部材に生ずるひずみ量，着地時の（反力）加速度，落下速度およびコンクリート製魚礁に生ずるクラックを計測した。

また，実験に使用したコンクリート魚礁供試体および着底基盤の材料強度等の物理特性を室内実験で求めた。落下実験の条件は下記のとおりである。

i) 魚礁供試体……打設後28日を経たコンクリート製1.5 m 角型中空四角礁ブロック（図1，2および表1を参照。）および断面形 100 mm×100 mm×厚さ (t) 6 mm の中空角柱部材を用いた外型 1.5 m×1.5 m ×1.5 m の鋼製角型魚礁模型（図3を参照。）の2種で行った。

ii) 着底基盤……露出している岩盤を約 2 m×2 m の面積で平坦に削り微小の不陸を砂で整正した岩基盤および打設後28日を経た面積 2 m×2 m，厚さ 30 cm のコンクリート基盤（この基盤の下は，在来のコンクリート版および岩盤である。）の2種で実験を行った。

iii) 落下方法……図4に示したようにクレーン車で魚礁供試体をつり上げ面着および陵着の両条件で落下実験を行ったもので，面着条件では垂直材4点の位置での基盤から下弦材までの高さを，陵着条件では最下部の部材の両端位置の2点の高さを計測・調整し落下実験を行った。（落下高さはそれら計測値の平均を採った。）落下高さは鋼製魚礁模型では 0.05 m，0.1 m, 0.2 m, 0.3 m, 0.4 m, 0.5 m, 0.6 m, 0.8 m, 1 m とし，コンクリート製魚礁ではクラックが生じる高さまでで打切った。

また，架台につけた滑車を介して魚礁供試体上部を索

* 水産土木工学部

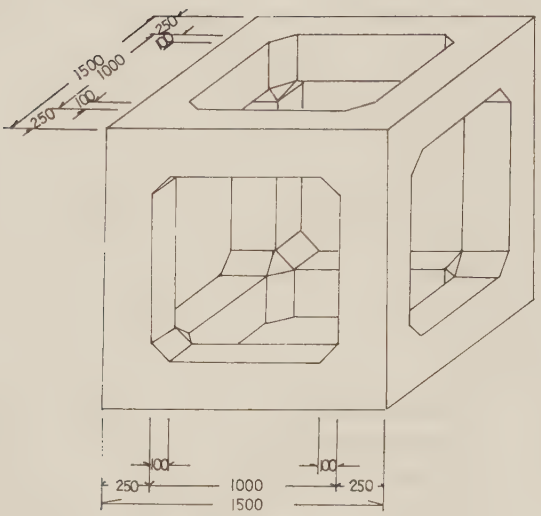


図 1 1.5 m 角型中空四角礁ブロック (単位；mm)
Shape of a square fish-reef block (1.5 m Type)

表 1 1.5 m 角型中空四角礁ブロック材料一覧
〔1個当り〕
Materials of the square fish-reef block.
(1.5 m Type)

記号	径 (mm)	長さ (mm)	本数 (・)	単位重量 (kg/m)	一本当り重量 (kg)	重量 (kg)	摘 要
①	D 10	5930	4	0.560	3.321	13.284	
②	D 10	4810	4	0.560	2.694	10.776	
③	D 10	1750	16	0.560	0.980	15.680	
小 計						39.740	
④	φ 9	580	24	0.499	0.289	6.936	スターラップ
小 計							
D 10						39.740	
φ 9						6.936	
コンクリート					0.906 m³		
型枠					12.07 m²		

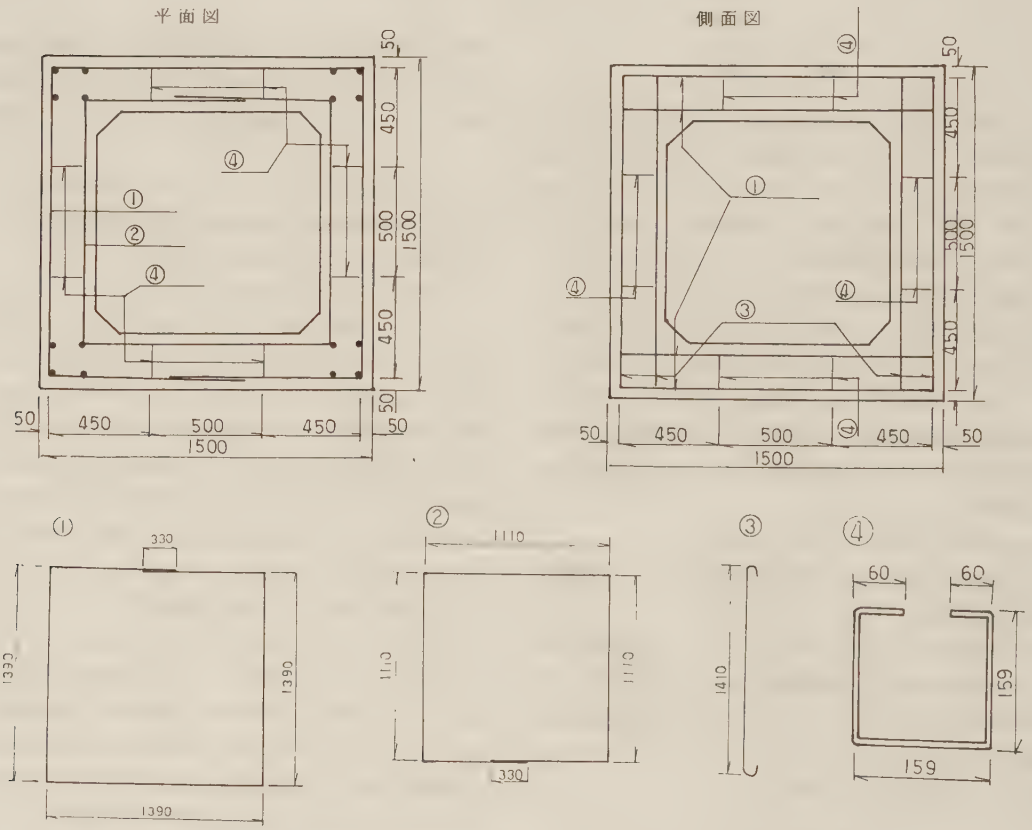


図 2 1.5 m 角型中空四角礁ブロック配筋図 (単位；mm)
Schematic presentation of the reinforcing bars. (1.5 m Type) (unit : mm)

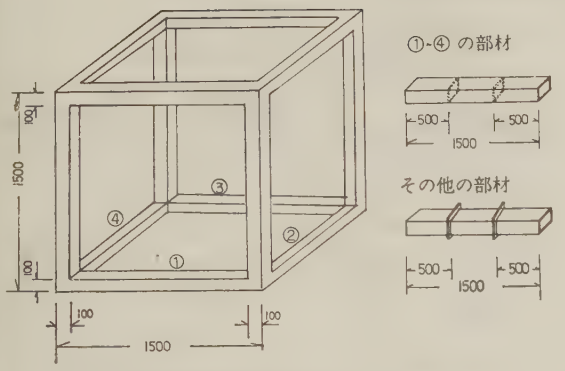


図 3　鋼製角型魚礁模型（単位；mm）
Model of square fish-reef block of steel make.

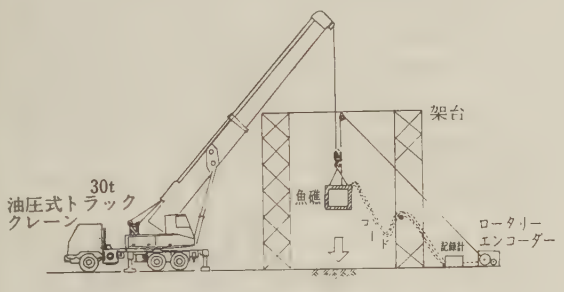


図　4　落下実験模様
Schematic presentation of the experiment.

で結び，その索の他端にポランショメーターをとりつけその回転変位で魚礁の落下速度の測定をも行った。

iv　計測機器……野外での実験に使用した計測機器は表2に示した。

2.2　試料の力学的性質

コンクリート製魚礁およびコンクリート基盤は表3に示した配合で作製されたもので，その材料の力学的性質を表4に示した。また，コンクリート基盤のコアの力学的性質を表5に，岩基盤のコアの力学的性質を表6に示した。コンクリート材料の試験法は *JIS* および道路公団の方法，岩石については国鉄ないしは建設省土木研究所の岩石試験（案）に基づいて実施した。表4，6から実験に用いた岩盤（石）はコンクリートと比較して，一軸圧縮強度・引張強度ともに大きなことがわかる。動的弾性係数については，岩石もコンクリートもともに約 2×10^5 kg/cm² である。

2.3　落下実験結果

面着条件で魚礁を落下させた場合の空中落下高さと着地時の加速度の関係を図5に示した。（加速度計の装着位置は接地部材の上面であり，3軸成分のうち必ず1軸は鉛直方向となるよう固定した。以下の陵着条件においても同様な方法をとった。）図5によれば，コンクリート基盤上に落下した場合と岩基盤上に落下した場合とを比べて，前者の方がやや小さく観測されている。コンクリート製魚礁を落下した場合，落下高 15 cm で魚礁の隅角部にクラック幅 1 mm 以上のクラックが観測される。

表 2　現場実験での計測機器一覧
Machinery and tools in the fielb experiment

項　目	観測機器	備　考
部材ヒズミ量	箔フェステルゲージ (KFC) ヒズミ測定器*1 データレコーダー*2	*1,*2 は計測用，データ収録用で各項目に共用
着地加速度	加速度変換器 (AS-50TB)*3(容量 50 G) *1, *2	*3　3軸方向の加速度測定が可能
落上速度	ロータリーエンコーダー *1, *2	
(クラック量)	クラック幅(ルーペ) クラック位置 (写真等)	

表 3　魚礁および基盤の配合表
Composition of concrete

所要強さ kg/cm²	210	水セメント比 %	55.0	粗骨材の最大寸法	25
所要スランプ cm	8	絶対細骨材率 S/A %	46.4		
所要空気量 %	4.5	使用セメント kg/m³	276	使用セメント名	普通ポルトランドセメント

陵着条件でコンクリート魚礁を落下した場合については図6のとおりで，図5の面着条件の同じ高さの結果と比較して着地時の加速度は大きく観測されている。陵着条件では，落下高 5 cm で既に隅角部にクラックが観測される。これらの両条件における落下高さと着底直前の速度との関係は，落下前のエネルギーが保存されるとして導かれる落下高さと速度の関係（3. 節参照。）をほぼ満足している。次に，図7に示した部材箇所で着底時のひずみを計測し，その結果を図8に示した。図8では横軸に着地時の加速度，縦軸にひずみ（マイクロストレイン）を示し，また，同時に縦軸に鋼製魚礁の場合は鋼のヤング率 2100000 kg/cm² を使って換算した縁応力を，コンクリート製魚礁の場合は材料試験結果による210000 kg/cm²　を使って換算した縁応力を併記した。図8の No. は，図7のひずみ測定位置の番号を示している。

表 4 魚礁材料（コンクリート）の力学的性質
Mechanical properties of concrete

a. 一軸圧縮試験
compression test

（標準養生）	測定値 Measurement	備考 Remarks
供試体の単重 Unit weignt	2.392 g/cm³	供試体個数 n=3
一軸圧縮強度 Uniaxial compressive strength	285 kg/cm²	養生日数 28 (days)

（現場養生）	測定値 Measuremenr	備考 Remarks
供試体の単重 Unit weight	2.340 g/cm³	供試体個数 n=3
一軸圧縮強度 Uniaxial ocmpressive strength	273 kg/cm²	養生日数 28 (days)

（現場養生）	測定値 Measuremenr	備考 Remarks
供試体の単重 Unit weignt	2.343 g/cm³	供試体個数 n=3
一軸圧縮強度 Uniaxial compressive strength	290 kg/cm²	養生日数 29 (days)

b. 圧裂引張試験
Radial compression test

（現場養生）	測定値 Measurement	備考 Remarks
供試体の単重 Unit weight	2.334 g/cm³	供試体個数 n=3
圧裂引張強度 Radial compression strength	24.2 kg/cm²	養生日数 28 (days)

c. 曲げ試験
Bending test

（現場養生）	測定値 Measurement	備考 Remarks
供試体の単重 Unit weight	2.325 g/cm³	供試体個数 n=3
曲げ強度 Bending strength	34.9 kg/cm²	養生日数 28 (days)

d. 弾性定数
Elastic constants

	測定値 Measurement	備考 Remarks
静的弾性係数 Static modulus of elasticity	3.49×10^4 kg/cm²	
動ポアソン比 Dynamic Poisson's ratio	0.38	
動的弾性係数 Dynamic modulus of elasticity	2.01×10^5 kg/cm²	

表 5 基盤コア（コンクリート）の力学的性質
Mechanical properties of concrete core

a. 一軸圧縮試験
compression test

	測定値 Measurement	備考 Remarks
コアの単重 Unit weight	2.354 g/cm³	供試体個数 n=3
一軸圧縮強度 Uniaxial compressive strength	231 kg/cm²	養生日数 28 (days)

	測定値 Measurement	備考 Remarks
コアの単重 Unit weight	2.354 g/cm³	供試体個数 n=3
一軸圧縮強度 Uniaxial compressive strength	249 kg/cm²	養生日数 29 (days)

	測定値 Measurement	備考 Remarks
コアの単重 Unit weight	2.334 g/cm³	供試体個数 n=3 落下位置より採取 打接後30日経過
一軸圧縮強度 Uniaxial compressive strength	212 kg/cm²	

b. 圧裂引張試験
Radial compression test

（現場養生）	測定値 Measurement	備考 Remarks
供試体の単重 Unit weight	2.306 g/cm³	供試体個数 n=3
圧裂引張強度 Radial compression strength	22.2 kg/cm²	養生日数 28 (days)

c. 曲げ試験
Bending test

（現場養生）	測定値 Measurement	備考 Remarks
供試体の単重 Unit weight	2.348 g/cm³	供試体個数 n=2
曲げ強度 Bending strength	37.6 kg/cm²	養生日数 28 (days)

表 6　基盤材料（岩石）の力学的性質
Mechanical properties of rock

	測定値 Measurement	備考 Remarks
供試体の単重 Unit weight	1.997 g/cm³	
一軸圧縮強度 Uniaxial compressive strength	387 kg/cm²	
圧裂引張強度 Radial compression strength	73.2kg/cm²	
曲げ強度 Bending strength	115 kg/cm²	2 等分点載荷
静的弾性係数 Static modulus of elasticity	3.53×10^4 kg/cm²	接線ヤング率
動ポアソン比 Dynamic Poisson's ratio	0.36	超音波パルス伝播法
動的弾性係数 Dynamic modulus of elasticity	2.18×10^5 kg/cm²	

3. 考　察

3.1 地盤の力学的特性

一般に弾性的な地盤表面に荷重が作用した場合，地盤反力は地盤の変形量（沈下量）と地盤の力学的定数とで表わされる。その表示形式は(1)式のようなものが考えられる。

$$R=K\cdot\varepsilon^m \quad \cdots\cdots(1)式$$

ここに，R：基盤反力，K：基盤反力係数

ε：地盤の沈下量，m：べき数

落下物体が地表面に衝突した際，着底時の運動方程式は(2)式で表わされる。

$$\sigma\cdot V\cdot\dot{v}=\sigma\cdot g\cdot V-R \quad \cdots\cdots(2)式$$

ここに，σ，V；物体の密度，体積

g：重力の加速度

R：地盤の反力

$\dot{v}$：物体の加速度

着底による基盤変位を ε とすると(2)式を変形して(3)式を得る。

$$\ddot{\varepsilon}+\frac{K\cdot\varepsilon^m}{\sigma\cdot V}=g \quad \cdots\cdots(3)式$$

(3)式に $d\varepsilon$ $(=v\cdot dt)$ を乗じ，衝突直前の速度を v_0 とし，ε を0から最大変位 ε_{max} まで積分すると，

$$\int_0^{\varepsilon_{max}}\ddot{\varepsilon}\,d\varepsilon+\int_0^{\varepsilon_{max}}\frac{K\cdot\varepsilon^m}{\sigma\cdot V}d\varepsilon=\int_0^{\varepsilon_{max}}g\cdot d\varepsilon \quad \cdots\cdots(4)式$$

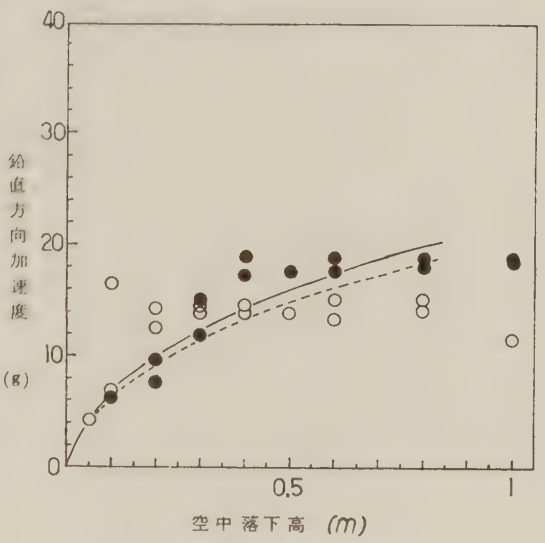
これを解いて(5)式を得る。

$$\frac{K\cdot\varepsilon_{max}^{m+1}}{(m+1)\sigma\cdot V}-g\cdot\varepsilon_{max}-\frac{v_0^2}{2}=0 \quad \cdots\cdots(5)式$$

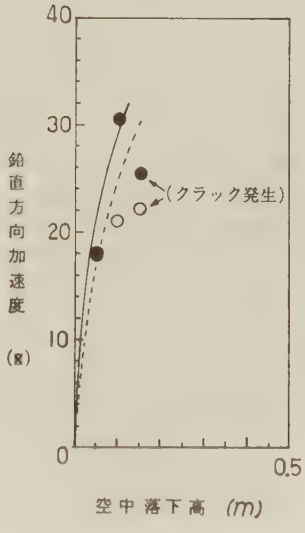
いま，着底時の（反力）加速度 G が明らかなとき，地盤の反力は，$R=\sigma\cdot V\cdot G$ で表わされ(1)式の関係を使って(5)式は(6)式となる。

$$\left(\frac{G}{m+1}-g\right)\varepsilon_{max}=\frac{v_0^2}{2} \quad \cdots\cdots(6)式$$

$v_0=\sqrt{2\cdot g\cdot h}$（ここに，$h$；物体の落下高さ）を使って(6)式を整理して地盤変位に関する(7)式を得る。



〔鋼製魚礁〕



〔コンクリート魚礁〕

図 5　着底時の加速度と落下高さの関係(面着条件)
〔●岩基盤，○コンクリート基盤〕

Relation between the acceleration at landing and the dropping height (Impingement at a facet)
〔Remarks ; ●Rock base, ○ Concrete base〕

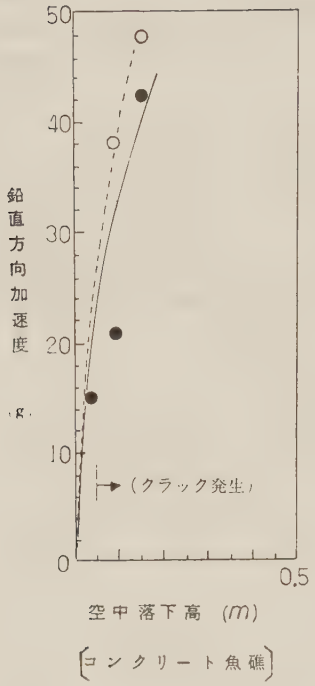


図 6　着底時の加速度と落下高さの関係（陵着条件）
〔●岩基盤，○コンクリート基盤〕

Relation between the acceleration at landing and the dropping height (Impingement at a edge)
〔Remarks ; ● Rock base, ○ Concrete base〕

$$\varepsilon_{max}=\frac{h(m+1)}{\left\{\frac{G}{g}-(m+1)\right\}} \quad \cdots\cdots(7)\text{式}$$

着底時の加速度がわかれば，(1)，(7)式および $R=\sigma\cdot V\cdot G$ の関係を使って基盤反力係数を推算することができる。

$$K=\sigma_G\cdot V\cdot\frac{G}{g}\cdot\left\{\frac{h(m+1)}{\frac{G}{g}-(m+1)}\right\}^{-m} \quad \cdots\cdots(8)\text{式}$$

ここに，σ_G ; $\sigma_G=\sigma\cdot g$

図5，6の結果を基に，コンクリート魚礁の単位体積重量 $\sigma_G=2400\ \mathrm{kg/m^3}$，実容積 $V=0.906\ \mathrm{m^3}$，$m=2$ として岩基盤およびコンクリート基盤と落下魚礁の合成反力係数を求めると表7，8のようになる。表7，8によれば，岩基盤の場合，その合成基盤反力係数は約 $3.5\times10^8\ \mathrm{kg/m^2}$ とされる。同じく，コンクリート基盤では，陵着条件で求めた基盤反力係数値が面着条件で求めたものより幾分大きいが，その基盤反力係数は約 10^8～$10^9\ \mathrm{kg/m^2}$ とされる。

又，図5の結果を基に，鋼製魚礁模型の結果から合成基盤反力係数を求めてみると図9のようになる。（鋼製魚礁模型の重量 295 kg，排水容積 0.164 m³，資材実体積 $V=0.295\ (\mathrm{t})/8\ (\mathrm{t/m^3})=0.037\ \mathrm{m^3}$ であり，(8)式の $\sigma_G V=295\ (\mathrm{kg})$ として計算を行った。）図9の結果をみると，先にコンクリート製魚礁で求めた基盤反力係数よりオーダー的にも小さい。このことはコンクリート製魚礁と鋼製魚礁の曲げ剛性に違いがあり（コンクリート製魚礁部材の曲げ剛性 89 t·m²，鋼製魚礁部材の曲げ剛性 70 t·m²），そのために着底時コンクリート魚礁に比較して鋼製魚礁の方が部材変形が生じ易く，加速度計の加速度が小さく観測されたことによるものと考えられる。

表 7　基盤反力係数について（コンクリート製魚礁，面着）

Coefficient of reaction (Concrete fish-reef, facet-landed)

	基盤反力係数 kg/m²	備考 落下高(m)	
岩基盤	3.91×10^8	0.05	平均 3.64×10^8 kg/m²
	5.57×10^8	0.1	
	1.44×10^8	0.15	
コンクリート基盤	3.95×10^8	0.05	平均 2.17×10^8 kg/m²
	1.64×10^8	0.1	
	0.92×10^8	0.15	

表 8　基盤反力係数について（コンクリート製魚礁，陵着）

Coefficient of reaction (Concrete fish-reef, edge-landed)

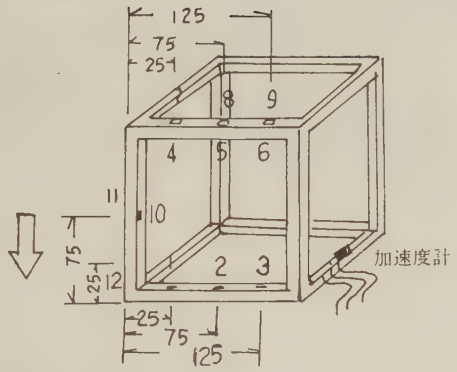
	基盤反力係数 kg/m²	備考 落下高(m)	
岩基盤	2.09×10^8	0.05	平均 3.58×10^8 kg/m²
	1.52×10^8	0.1	
	7.12×10^8	0.15	
コンクリート基盤	1.12×10^9	0.1	平均 1.08×10^9 kg/m²
	1.04×10^9	0.15	

コンクリート製魚礁で求めた岩基盤・コンクリート基盤の基盤反力係数と室内試験で求めた岩およびコンクリートの動弾性係数と比較すると，動的弾性係数はともに $2\times10^9\ \mathrm{kg/m^2}$ 程度であり基盤反力係数値は基盤素材の動弾性係数より1オーダーないし若干小さいことがわかる。

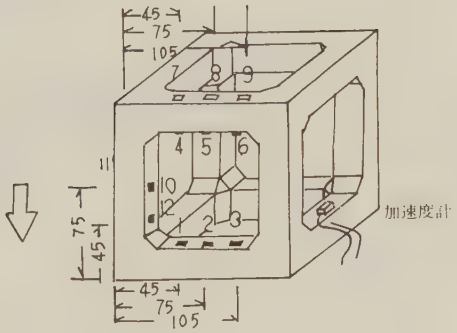
3.2　魚礁部材の応力

図10に魚礁部材の表面に接着した各箔ひずみゲージの

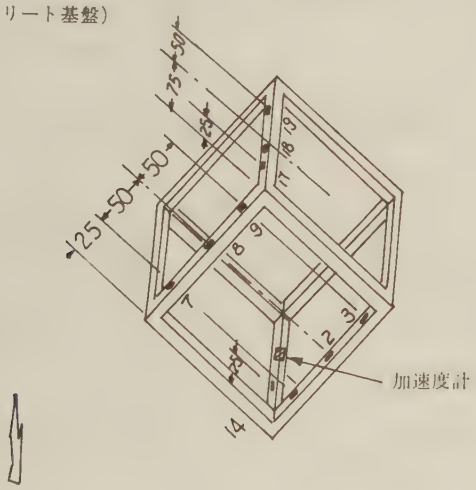
Case. a
（コンクリート基盤）



Case. b
（岩基盤）



Case. c
（コンクリート基盤）



Case. d
（コンクリート基盤）

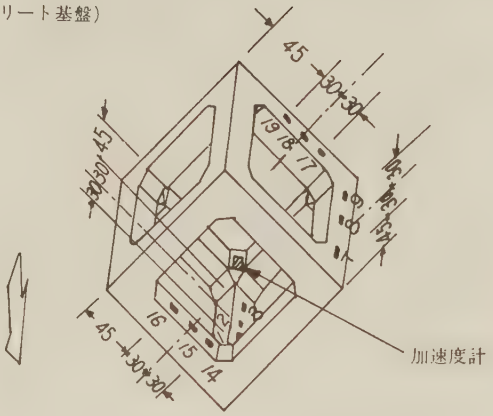
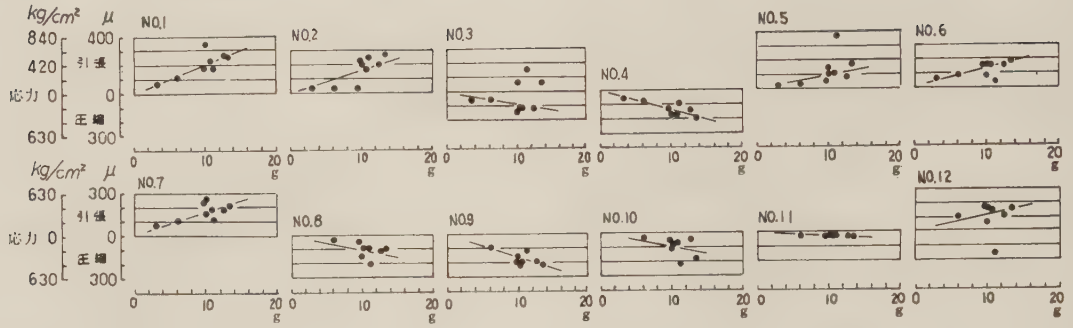
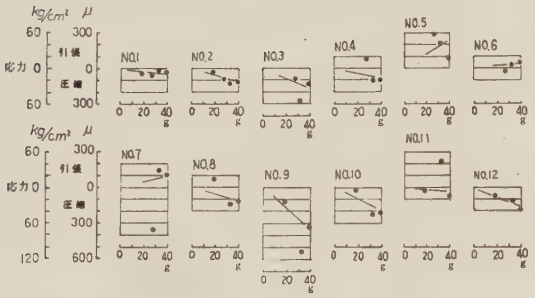


図 7　面着・陵着落下実験のヒズミ測定位置（単位：cm）
Presentation of points where were measured strain

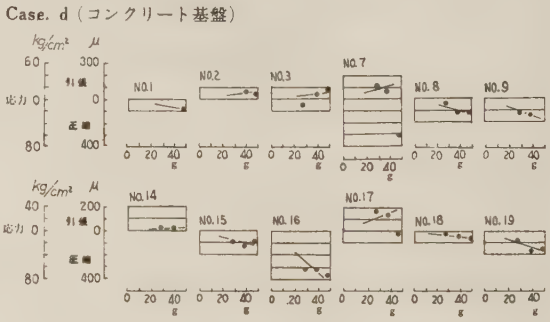
Case. a（コンクリート基盤）



Case.b（岩基盤）



Case. d（コンクリート基盤）



Case. c（コンクリート基盤）

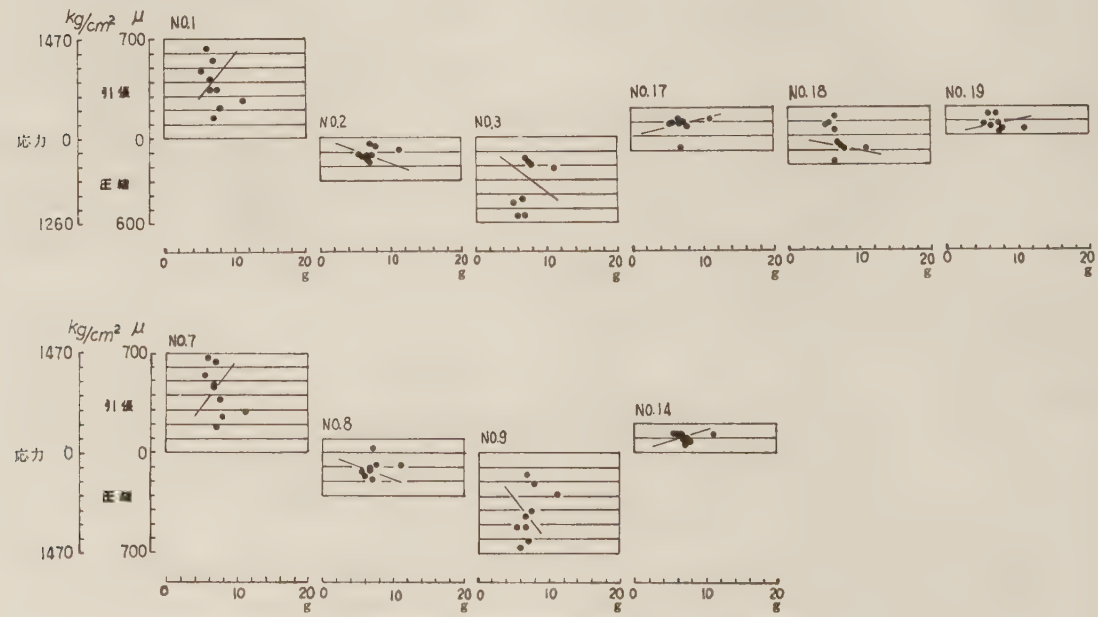


図 8 着底時の鉛直加速度と部材のヒズミとの関係

Relation between the acceleration at landing and strains of beams

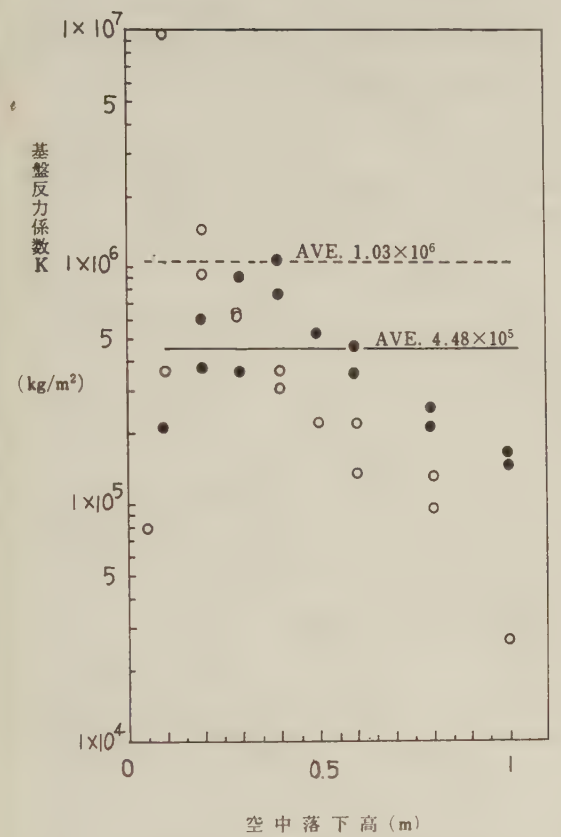


図 9　基盤圧力係数(鋼製魚礁，面着実験の場合)
〔●岩基盤，○コンクリート基盤〕
Coefficient of reaction. (Steely fish-reef model, facet-landed)

ひずみより求めた縁応力によって代表的に示した。ここで，観測したひずみより応力を算定した設計外力について検討を行う。

(a)　コンクリート製魚礁の応力度

中立軸に関して影線を施こしたコンクリート有効断面の1次モーメントを G_c，全鉄筋断面の1次モーメントを Gs とすると（図11参照）

$$G_c=\frac{bx^2}{2} \quad \cdots\cdots (9)式$$

$$G_G=-A_s'(x-d')-A_s(d-x) \quad \cdots\cdots (10)式$$

又，コンクリートおよび鉄筋の2次モーメントは

$$I_c=\frac{bx^3}{3} \quad \cdots\cdots (11)式$$

$$I_s=A_s'(x-d')^2+A_s(d-x)^2 \quad \cdots\cdots (12)式$$

ここで中立軸に関するコンクリート圧縮断面と，鉄筋断面の n 倍よりなる，いわゆる換算有効断面の1次モーメント G_i は，

$$G_i=G_c+nG_s \quad \cdots\cdots (13)式$$

で与えられ，中立軸に関する1次モーメントは軸力零のとき $G_i=0$ より，中立軸の位置 x を求めることができる。(13)式に(9)，(10)式を代入して(14)式を得る。

$$\frac{bx^2}{2}-n\cdot A_s'(x-d')-n\cdot A_s(d-x)=0 \quad \cdots\cdots (14)式$$

これを解けば，

$$x=\frac{n(A_s'+A_s)}{b}+\sqrt{\left(\frac{n(A_s'+A_s)}{b}\right)^2+\frac{2n}{b}(d'A_s'+d\cdot A_s)} \quad \cdots (15)式$$

魚礁供試体の A_s'，A_s は 1.57 cm²(0.5 cm×0.5 cm×3.1416×2本) b，h ともに 25 cm，d=20 cm，d'=5 cm，n=10.5（鋼材の弾性係数 E_s=2100000 kg/cm²，コンクリートの弾性係数 $E_c=2.0\times10^5$ kg/cm²）を(15)式に使って x=4.45 cm を得る。又，換算有効断面の二次モーメント I_i は(16)式で表わされる。

$$I_i=I_c+nI_s \quad \cdots\cdots (16)式$$

計算すると I_i=4450 cm⁴ となる。

最大圧縮応力度 σ_c は，断面の曲げモーメントを M，換算有効断面 I_i を使って(17)式で表わされる。

$$\sigma_c=\frac{x\cdot M}{I_i} \quad \cdots\cdots (17)式$$

(b)　鋼製魚礁部材の応力度

図12を参考に部材の断面2次モーメント I_s，中立軸の位置 y を求める。中空長方形断面の2次モーメントは，

$$I_s=\frac{1}{12}(BH^3-bh^3) \quad \cdots\cdots (18)式$$

で与えられ，y は断面中心位置からの距離であり，縁応力位置では $y=H/2$ である。鋼製の供試体について求めると，I_s=333.6 cm⁴，y=5 cm を得る。またこのときの縁応力 σ_s と曲げモーメントの関係は(19)式で与えられる。

$$\sigma_s=\frac{M}{I_s}y \quad \cdots\cdots (19)式$$

(c)　曲げモーメント

コンクリート製魚礁では(17)式に，鋼製魚礁模型では(19)式に，縁応力（ひずみより推察される応力）を代入して曲げモーメントを推察することができる。図10にあげた場合について曲げモーメントを示すと図13のようになる。（図中の黒丸が歪測定値からの計算値であり，又図には部材の単位重量が Q 倍になったとして計算した曲げモーメント図も示した[*1]。）図13の曲げモーメント図に示した各例の着底時の部材の単位長さあたりの重量 P は以下のとおり。

Case a　　P=1 t/m

[*1] 文献 3) には，魚礁の応力図が示されており計算にあたってはそれらが参考とされる。

Case b　　$P=3$ t/m

Case c　　$P=0.5$ t/m

Case d　　$P=1$ t/m

3.3 着底時の部材応力の推定法

着底時の部材応力を計算する方法には，着底時の慣性力を物体に付加して静定な構造計算を行うことが考えられる。基盤反力係数 K が既知の場合，(5)式より ε_{max} を求め，その ε_{max} を(1)式に用いて基盤反力 R が求まり，この反力を単位体積重量が増加したときの静換算重量 $\overline{\sigma_G}$ を部材の応力計算に用いることができる。

$$\overline{\sigma_G}=\frac{K\cdot\varepsilon_{max}^{m}}{V}\quad\cdots\cdots(20)\text{式}$$

コンクリート製魚礁の部材の単位長さあたりの重量は，$0.5\text{ m}\times0.25\text{ m}\times1\times2.4\text{ t/m}^3=0.15\text{ t/m}$

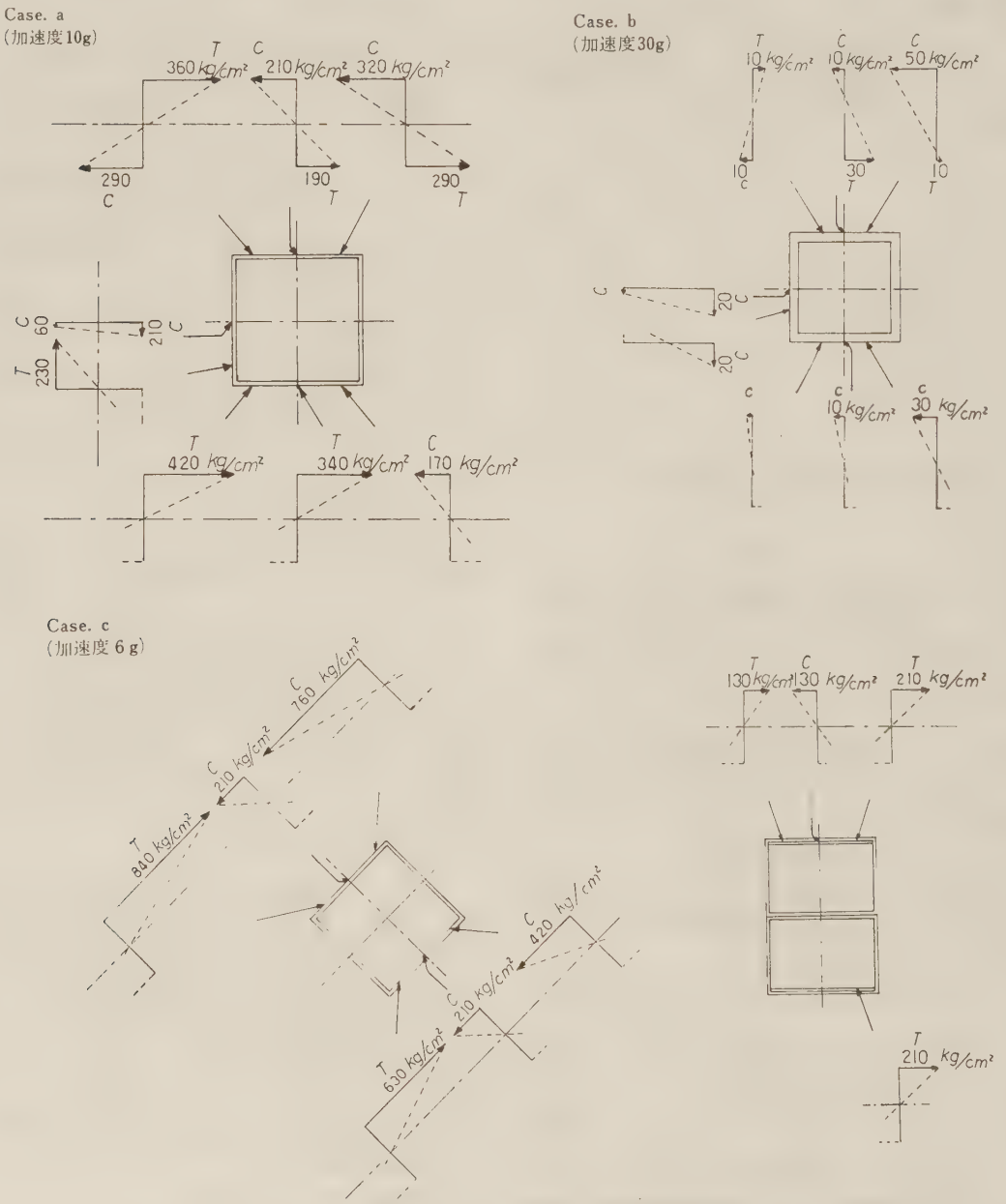


図 10—1　着底時の応力（C；圧縮，T；引張）

Stress of the beams at landing (C ; Compression, T ; Tension)

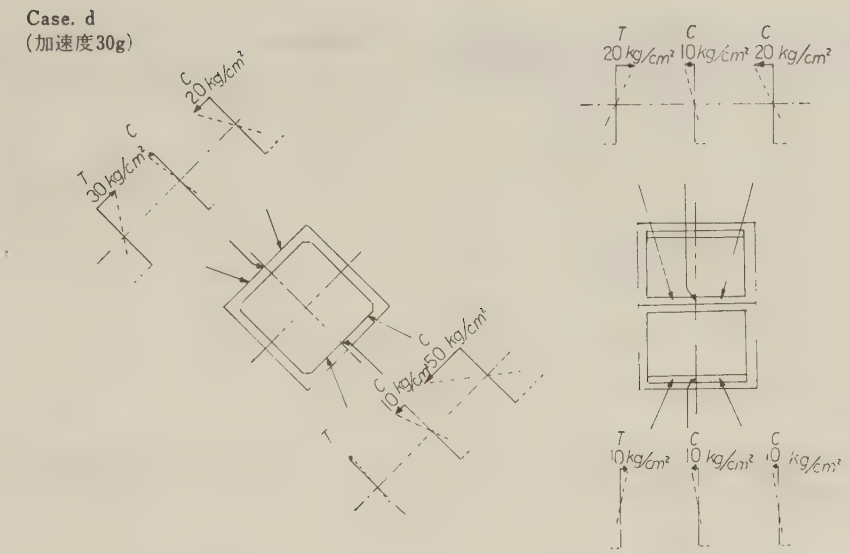


図 10—2　着底時の応力（C；圧縮，T；引張）
Stress of the beams at landing (C ; Compession, T ; Tension)

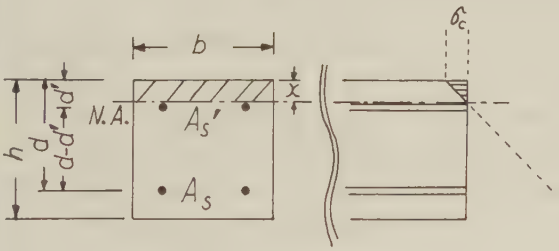


図 11　複鉄筋矩形断面
Rectangular cross section which has multiple reinforcing bar

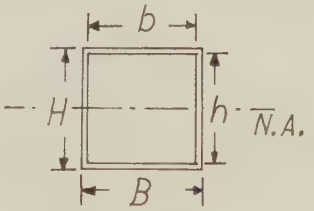


図 12　中空長方形断面（鋼材）
Rectangular hollow cross section (Steel beam)

鋼製魚礁模型の部材の単位長さあたりの重量は，

$2.25\times10^{-3}\ \mathrm{m^2}\times1\times8\ \mathrm{t/m^3}=0.018\ \mathrm{t/m}$

であって，先に曲げモーメントで求めた着底時の見掛けの部材重量と比較すると，

	見掛けの増加割合
Case a	1 (t/m)/0.018 (t/m)= 55.6
Case b	3 (t/m)/0.15 (t/m)= 20
Case c	0.5 (t/m)/0.018 (t/m)= 27.8
Case d	1 (t/m)/0.15 (t/m)= 6.6

となり，各例の着底時の加速度と対比してみるとコンクリート魚礁では加速度と同じ程度かあるいは幾分小さい。

鋼製魚礁模型の場合は，前述のように着地時の加速度が小さく観測されているせいか部材重量の見掛けの増加割合と大きな差がみられる。ここで，逆に部材の曲げモーメントより基盤反力係数を推察すれば，見掛けの部材重量の増加割合を着底時の加速度によるものと考えることができ，(21)式のように表現でき，前述の(8)式より K 値が導出される。

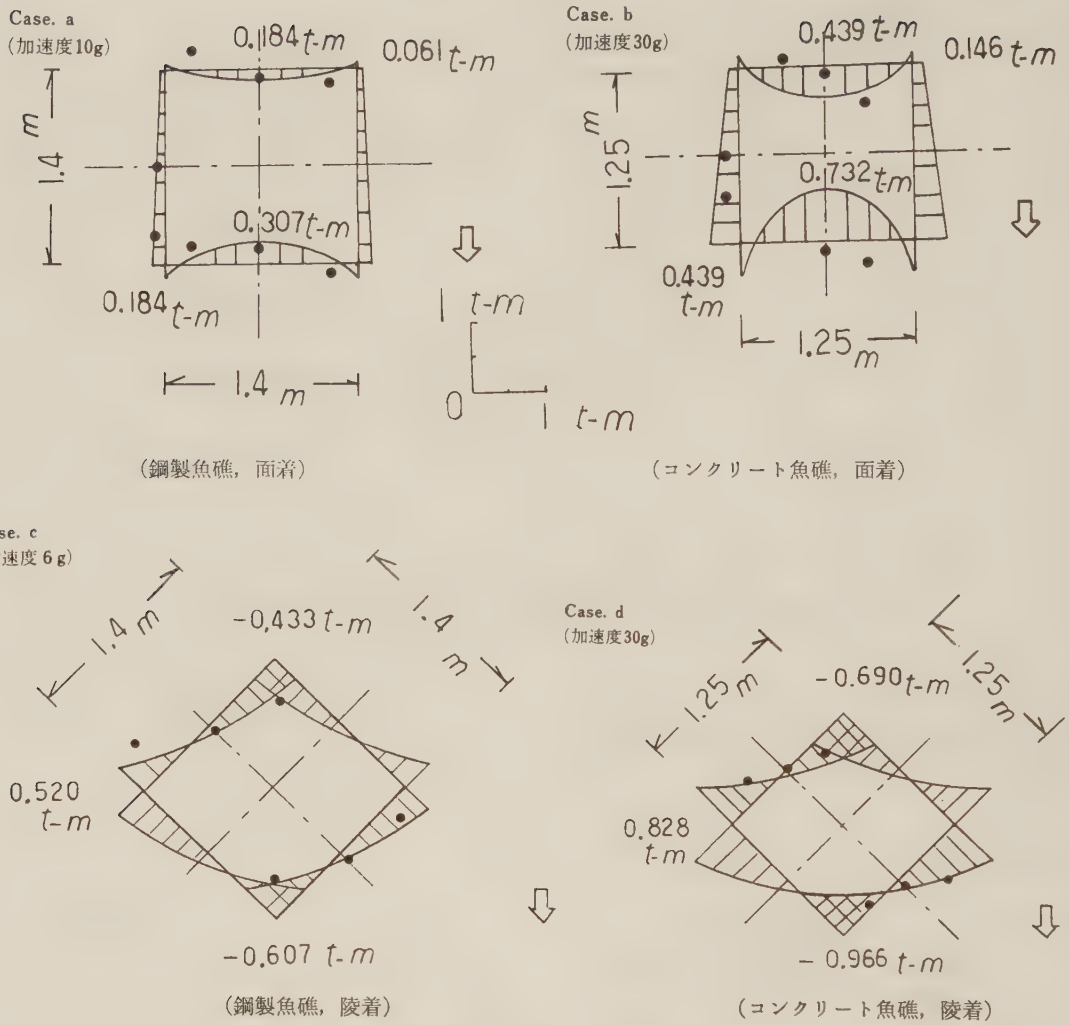
$$Q=\frac{\sigma_G}{\sigma_G}=\frac{G}{g}\qquad\cdots\cdots(21)\text{式}$$

Case b（岩基盤，コンクリート魚礁，面着条件，着底時の加速度 30 g の場合）で曲げモーメントより K の値を算定すれば岩基盤 $K=1.4\times10^8\ \mathrm{kg/m^2}$ ($G/g=20$, $h=0.1$ m，他の値は前出3.1を参照。)，同じく *Case a*（コンクリート基盤，鋼製魚礁，面着条件，着底時の加速度 10 g の場合）でコンクリート基盤 $K=0.81\times10^8$ kg/m² 程度と計算される。($G/g=55.6$, $h=0.25$ m（図5よりその他の値は前出3.1を参照。）

4. 結　　言

角型魚礁の落下実験結果より以下の事柄が結論づけられる。

① 岩基盤での角型魚礁の合成基盤反力係数は，その



（鋼製魚礁，面着）　（コンクリート魚礁，面着）

（鋼製魚礁，陵着）　（コンクリート魚礁，陵着）

図 13　曲げモーメント図

Bending moment

岩の動的弾性係数より小さく 10^4 kg/cm^2 のオーダーとされる。

② コンクリート基盤での角型魚礁の合成基盤反力係数は，10^4～10^5 kg/cm^2 のオーダーとされる。

③ 鋼製魚礁模型の部材の曲げモーメント推定したコンクリート基盤の合成基盤反力係数 K は，コンクリート魚礁の着底時の加速度より求めた値より若干小さいが，その他では部材の見掛けの増加割合は着底時の加速度と対応しており，角型魚礁の場合(2)式の表現形式で近似される設計手法の妥当性が確かめられた。

参考文献

1） 中村充・上北征男・飯野達夫，海中落体の着底衝撃に関する研究，第22回海岸工学講演会論文集 p483～487，1975

2） 上北征男著分，水産土木事例と計算法（Ⅱ），水産増養殖叢書30，p53～74，日本水産資源保護協会，1980，初版

3） 中村充，水産土木学，p419～432，工業時事通信社，1979，初版

4） 赤井浩一，土の支持力と沈下，p46～76，山海堂 1974，第5版

5） 山口梅太郎・西松裕一，岩石力学入門［第2版］，東京大学出版会，1981

6） 水野高明，鉄筋コンクリート工学［第2版］，森北出版，1971

Study on the Impact Force to the Artificial Fish Scheme colliding with the Sea Bottom (II)

—— In case of the Rock Sea Bottom ——

By

Yoshiaki Hideshima and Yukio Uekita

Summary

In designing the construction of the artificial fish scheme, the external forces taken into consideration are the maximum one's act on the fish scheme when it's loading, transporting, and putting at the sea bottom. When the artificial fish scheme lands at the sea bottom, the impact force is generally produced.

Then it is the most dangerous condition for the artificial fish scheme. The intensity of this impact depends on the weight and the falling velocity of the fish scheme, the physical property of the sea bottom and the form of the fish scheme.

The purposes of this experiment are following.

① Estimation of the reaction coefficient (K) of the rock base and concrete base.

② Establishment of the method for designing the construction of artificial fish scheme. (The method is that the inertial force is converted into the gravity force.) Under in-air test of artificial fish scheme (Fig. 1, 2) and the model (Fig. 3), we measured its strain, falling, velocity, acceleration and crack.

In this experiment, we made clear as follow.

① Coefficient of reaction

Rock base; $\sim 10^4$ kg/cm^2

Concrete base; $\sim 10^4 \sim 10^5$ kg/cm^2

② The weight of the fish scheme, calculated back on the strain of the beam at its landing is approximate to the weight calculated by the equation (1), (2).

$$R = K\varepsilon^m \quad \ldots\ldots (1)$$

$$\bar{\sigma}_G = \frac{K\ \varepsilon_{max}^m}{V} \quad \ldots\ldots (2)$$

here,

R: reaction of base, K: coefficient of reaction

ε: subside quantity of base, m: multiplier

V: volume of artificial fish reef, $\bar{\sigma}_G$: converted weight

ε_{max}: maximum subside quantity of base

水工研報告 4
1983 pp. 73～86.

異方圧密土の破壊強度特性

大槇正紀*

目　次

1. 緒　論……73
1.1 概　説……73
1.2 局部載荷による地盤内の応力変化……73
2. 異方圧密土の破壊基準……76
2.1 解析に用いる基本的関係式……76
2.2 異方圧密土の破壊時の応力状態……77
2.3 軸対称応力条件下での破壊時の応力状態……78
3. 解析結果と考察……79
3.1 計算方法……79
3.2 3主応力下での破壊時の応力状態……80
3.3 軸対称応力下での破壊時の応力状態……83
3.4 実験定数の決定法……84
4. 結　論……84
参考文献……85
Summary……86

1. 緒　論

1.1 概　説

漁港構造物は多くの場合，沖積地盤上に築造される。沖積地盤は，主に土粒子の自然堆積により形成されるものであり，このような地盤では，土の構造骨格に層状の異方性を有する。ここでは，このような堆積方向とこれに直角方向で異った性質を有する性質を積層異方性と呼ぶ。土粒子構造骨格のこのような異方性は，地盤の透水性，変形特性，破壊特性などの力学的性質に異方性を生ぜしめる。そして，この土の力学的性質に関する異方性は，このような地盤上に築造される構造物の設計を行う際，考慮しなければならない要素の1つである。正規圧密状態にある堆積地盤においては，一般に堆積面に垂直な方向の圧縮強度が，平行な方向の圧縮強度より大きい。一般に，設計に用いる土の破壊強度としては，土の堆積面に垂直な方向の圧縮強度が用いられている。したがって，沖積地盤上に築造される構造物の安定性を考える際，土の破壊強度に関する異方性は，危険側の結果を与えることになる。このように，土の破壊強度の異方性を考慮に入れた土の破壊時の応力状態を示す関係式を求めることは，漁港構造物のような荷重が基礎地盤上に局部的に載荷されたときの基礎地盤の安定性を検討する場合において意義あるものと思われる。

* 水産土木工学部

1.2 局部載荷による地盤内の応力変化

ここでは，自然堆積地盤上に局部的に荷重が載荷されたときの地盤内の応力変化について考える。図1 (a) は，自然堆積地盤上に帯状荷重 p_0 を載荷したときのすべり面上の各点での最大主応力 σ_1 の方向を模式的に示している。載荷前における鉛直方向及び水平方向の有効垂直応力をそれぞれ σ_v'，σ_h' とすると，これらは次のように表わされる。

$$\sigma_v' = \gamma' \cdot z \quad , \quad \sigma_h' = K_0 \cdot \sigma_v' \quad \cdots\cdots(1)$$

ここに，γ' は土の有効単位体積重量，z は地表面よりの深さである。ここで，静水面は地表面より上にあるものとしている。また，K_0 は静止土圧係数である。正規圧密地盤においては，一般に，K_0 は1より小さいから，式(1)より鉛直方向土圧が最大主応力，水平方向土圧が最小主応力になる。

さて，このような静止土圧状態にある地盤上に荷重が載荷されたときの地盤内の応力変化を全応力と有効応力に分けて考える。図1 (a) に示したように，水平方向に x 軸，鉛直方向に z 軸，紙面に直角方向に y 軸を取るとき，帯状荷重 p_0 が載荷されたときの地盤内の応力状態は平面ひずみ条件を満足しているので，$\tau_{xy}=\tau_{yz}=0$ であり，応力成分としては，σ_x, σ_y, σ_z, $\tau_{xz}(=\tau_{zx})$ の4成分が値を持つ。ここで，σ_x, σ_z は水平方向，鉛直方向の垂直応力であり，これをそれぞれ σ_h，σ_v で表わす。また，せん断応力 τ_{xz} を簡単に τ で表わす。いま，載荷により，地盤中の考えている点に過剰間隙水圧 u_e (>0)

が発生したとすると，この点での有効応力 σ_v'，σ_h' は次のように表わされる。

$$\sigma_v'=\sigma_v-u_e \quad , \quad \sigma_h'=\sigma_h-u_e \qquad \cdots\cdots(2)$$

せん断応力 τ は u_e の影響を受けない。

ここで，載荷部直下のすべり線上の点Aの応力状態を考える。この点の応力状態は図1（b）に示したように，載荷前に式(1)で表わされる K_0—線上の点 G にあったものが，載荷とともに鉛直方向，水平方向の垂直応力がともに増加し，全応力は点 F に移動する。載荷により，過剰間隙水圧 u_e が発生するので，有効応力は有効応力に関する破壊線上の点 F' に達して破壊する。ここで，$\overline{FF'}$ は式(2)より，等方応力線（$\sigma_v=\sigma_h$）に平行である。この図より分るように，載荷部直下では最大主応力方向はほぼ一定で，鉛直方向である。

次に，載荷部より十分離れた地表面付近のすべり面上の点 C での応力状態の変化を考える。この点においては載荷部より十分離れているので，鉛直方向土圧はほとんど変化なく，水平方向土圧が増加して破壊に至ると考えられる。したがって，破壊時においては，水平方向土圧が最大主応力，鉛直方向土圧が最小主応力にほぼ等しくなる。すなわち，載荷により，最大主応力方向がほぼ90°回転する。図1（c）はこの様子を模式的に示したものである。載荷前，K_0—線上の一点 G にあった応力状態は，等方応力線（$\sigma_v=\sigma_h$）を横切って，点 F に至る。他方，載荷により過剰間隙水圧 u_e（<0）が発生するので，有効応力状態は点 G より有効応力に関する破壊線上の点 F' に至り，土が破壊する。ここに，$\overline{FF'}$ は静水圧軸（$\sigma_v=\sigma_h$）に平行である。そして，この場合は前述したように，最大主応力の方向がほぼ90°回転して，$\sigma_v<\sigma_h$ の状態で破壊に至っている。ここに示した点AとCでの最大主応力方向は，それぞれ，ほぼ鉛直方向及び水平方向であるので，これら2つの場合には，$\tau(=\tau_{xz})\simeq 0$ と考えられる。

図1（a）に示したすべり線上の点AとCとの中間の点Bにおいては，最大主応力方向の水平方向からの傾きは0°から90°の中間の値を持つ。したがって，点A，Cの τ に比べ，点Bでの τ は十分大きい値を持つ。

ここで，図1（a）に示したすべり線上の2点A，Cの応力状態について再び考える。いま，地盤内の2点A，Cは同じ深さにあるものとする。図2は，これらの2点での応力状態の変化を q_u〜p 関係で示している。ここに，q_u，p は次のように定義する。

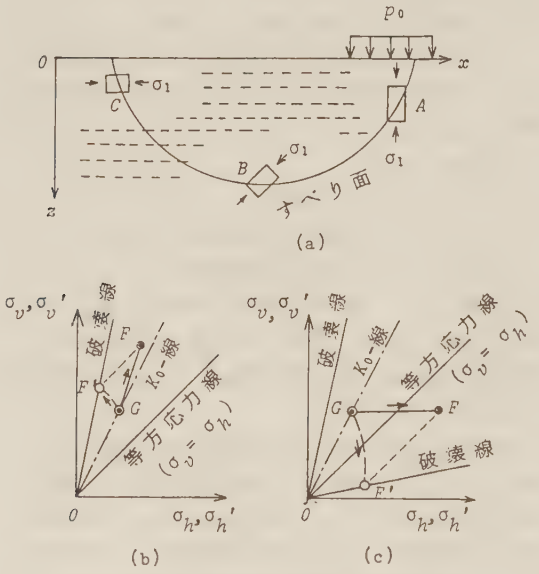


図1　(a) 帯状荷重による地盤内の応力状態，(b) 載荷部直下の応力状態，(c) 載荷部よりかなり離れた場所の応力状態.

Fig. 1　(a) Stress state in the ground induced by strip load, stress state at the point (b) immediately below the load and (c) far from the load.

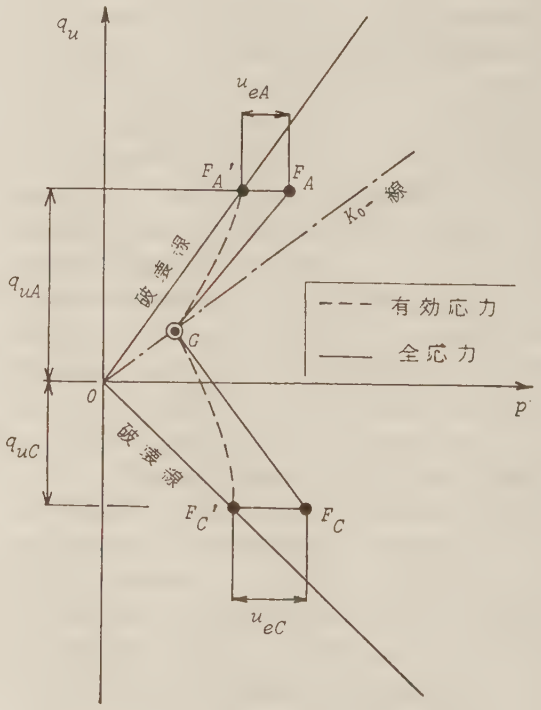


図2　載荷による地盤内の応力状態の変化.

Fig. 2　Change of stress state in the ground due to loading.

$$q_u=\sigma_v-\sigma_h \quad , \quad p=\frac{1}{3}(\sigma_v+\sigma_h+\sigma_y) \quad \cdots\cdots(3)$$

このとき，q_u，p に対する有効応力 q_u'，p' は次のようになる。

$$q_u'=q_u \quad , \quad p'=p-u_e \quad \cdots\cdots(4)$$

はじめに，地盤内の点Aにおける応力状態の変化をみる。この点においては，載荷前，K_0一線上の一点Gにあった応力状態は，載荷後，全応力表示では点 F_A に至る。このとき，載荷により地盤中には過剰間隙水圧 u_{eA} (>0)が発生するので，有効応力状態は点Gから破壊線上の点 F_A' に至る。ここで，F_A' は式(4)より分るように，間隙水圧 u_e だけ p 軸の負の方向に平行移動した点となる。地盤内の点C（図1 (a)）での応力状態は，載荷前の点Gから図1 (c) の静水圧軸に対応する p 軸を横切って，全応力表示では点 F_C に，また，有効応力表示では，破壊線上の点 F_C' に至る。ここでも，載荷により過剰間げき水圧 u_{eC} が発生しているので，点 F_C' は点 F_C より u_{eC} だけ p 軸の負の方向に平行移動した点となる。ここで，土の破壊強度を表わす軸差応力 q_u の大きさについて考える。いま，静止土圧状態を表わす点Gが与えられたとき，この図より，q_u の大きさに影響を与える因子として，次の3点が考えられる。即ち，1) 全応力経路（GF_A 又は GF_C）の位置，2) 載荷により発生する過剰間隙水圧 u_e の大きさ，3) 有効応力に関する破壊線の位置，である。1)～3)の項目を正確に求めるためには，その土の有効応力に関する構成関係式を用いて，土の変形も含めた形で，これを1つの初期値，境界値問題として解く必要がある。しかし，ここでは簡単に全応力経路 GF_A，GF_C が与えられたものとして，2)，3)の項目について考える。図から容易に分るように，全応力経路 GF_A 又は GF_C が与えられているとき，載荷により生じる過剰間隙水圧 u_e (>0) が大きい程，有効応力経路は全応力経路から離れ，p 軸の負の方向に寄る。したがって，同じ全応力経路に対しては小さい q_u で破壊線と交わる。すなわち，過剰間隙水圧の発生の大きさが大きい程，土の破壊強度 q_u は小さくなる。せん断による土中の過剰間隙水圧の発生の仕方は，土のダイレタンシー特性，すなわち，土のせん断応力により生じる体積変化の発生の仕方に大きく影響される。このような土のダイレタンシー特性は，土の変形特性の1つであり，土の構造の異方性に影響されることは容易に想像される。他方，3)の破壊線の勾配については，これが小さい程，土の破壊強度は小さくなることは容易に分る。この有効応力に関する破壊線の勾配は土の内部摩擦角に関係するものであり，これも，また，土の構造の異方性に影響されるものと思われる。

図3は，図1 (a) に示した地盤内の2点A，Cでの応力状態の変化をモールの応力円で示したものである。同図 (a) は載荷部直下のすべり線上の点Aの応力状態を，同図 (b) は載荷部より十分離れた点Cの応力状態を表わしている。これらの2点においてはいずれも $\tau\simeq 0$ であるので，載荷後のモールの応力円は σ 軸と σ_v と σ_h で交わる。ただし，同図 (a) では，$\sigma_v>\sigma_h$ であるが，同図 (b) では主応力方向が 90° 回転するので，$\sigma_v<\sigma_h$

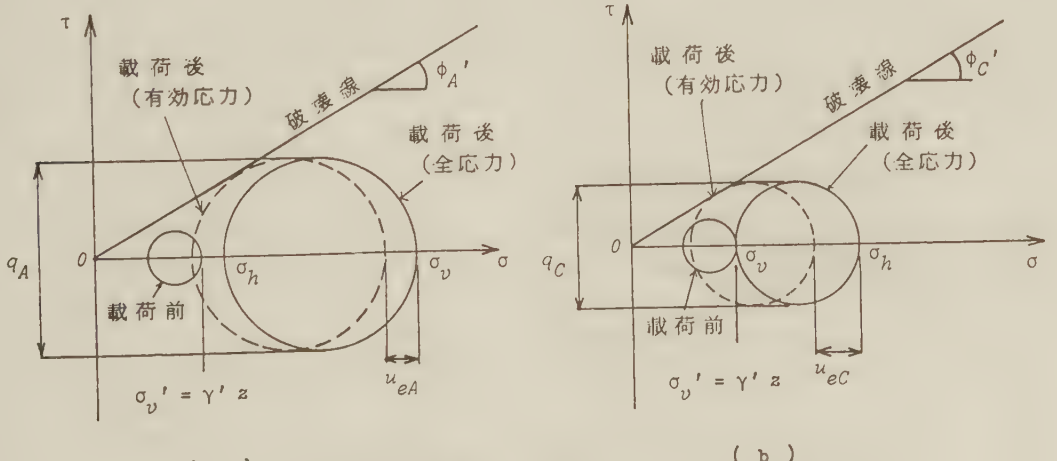


図 3　(a) 載荷部直下，(b) 載荷部よりかなり離れた場所のすべり線上でのモールの応力円.

Fig. 3　Mohr's circles of stress at the point (a) immediately below and (b) far from the load.

となる。この図からも，破壊時の軸差応力 q_u が1）載荷後の全応力に関するモールの応力円の位置，2）載荷により発生する地盤内の過剰間隙水圧 u_e（<0）の大きさ及び，3）有効応力に関する破壊線の勾配 ϕ'，により影響を受けることが分る。そして，それらの項目は土がその構造骨格の異方性を有するとき，作用する応力状態の方向の変化により影響を受けるものと思われる。

以上，図2及び図3において，載荷部直下及びこれより十分離れた点での地盤内の土要素について，地盤上に局部的に載荷されたときの応力状態をみてきた。そして，これより，地盤内の破壊強度は，1）載荷により生じる全応力状態，2）過剰間隙水圧の大きさ，3）有効応力に関する破壊線の勾配，に依存していることが分る。そして，これらのことは，すべり線上の各点において同様に言えることである。前述したように，土の構造骨格の異方性はここに示した土の破壊強度特性に影響を与える大きな要因と考えることができる。本文においては，これらの項目のうち，3)の有効応力に関する破壊線で表わされる土の破壊時の応力状態を表わす関係式，すなわち，土の破壊基準を扱っている。すなわち，堆積地盤のように，積層異方性を有する土を対象として，これに任意の応力状態が負荷されたときの破壊時の応力状態を表わす関係式を導びいている。また，これを用いて，代表的な応力条件下における破壊時の応力状態の計算結果を示すとともに，これに考察を加えている。

2. 異方圧密土の破壊基準

2.1 解析に用いる基本的関係式

図4（a）に示したように，土の有効応力テンソル (σ^{ij}) の参照座標 (x^i) の基底ベクトルを (g_i) とする。また，土の異方性の主軸方向（積層方向及びこれを直角方向）に一致するように (g_i) を回軸した座標系 $(x^{i'})$ の基底ベクトルを $(g_{i'})$，この座標系を参照する応力テンソルを $(\sigma^{i'j'})$ とする。ここで，(g_i) と $(g_{i'})$ の関係を次のように表わす。

$$g_{i'}=t^{i}_{i'}\,g_i \quad , \quad g_i=t^{i'}_{i}\,g_{i'} \qquad \cdots\cdots(5)$$

このとき，応力テンソル (σ^{ij}) と $(\sigma^{i'j'})$ の間には次の関係がある。

$$\sigma^{i'j'}=t^{i'}_{i}\,t^{j'}_{j}\,\sigma^{ij} \quad , \quad \sigma^{ij}=t^{i}_{i'}\,t^{j}_{j'}\,\sigma^{i'j'} \qquad \cdots\cdots(6)$$

ただし，式(5)，(6)の添字に関しては総和規約を適用するものとする（$g^{i'}=t^{i'}_{i}\,g^{i}=\sum_{i=1}^{3}t^{i'}_{i}\,g^{i}$ 等）。このとき，座標変換係数 $t^{i}_{i'}$，$t^{i'}_{i}$ の間には次の関係がある。

$$t^{i'}_{i}\,t^{j}_{j'}=\delta^{j}_{i'} \quad , \quad t^{i}_{i'}\,t^{j'}_{j}=\delta^{j'}_{i} \qquad \cdots\cdots(7)$$

つぎに，図4（b）に示したように，式(5)により変換を受けた座標系の基底ベクトル $(g_{i'})$ と方向が同じで，土の異方性の度合に応じてその大きさを変化させる座標系 $(x^{i''})$ の基底ベクトルを $(g_{i''})$，これを参照する応力テンソルを $(\sigma^{i''j''})$ とする。このとき，式(5)～(7)の場

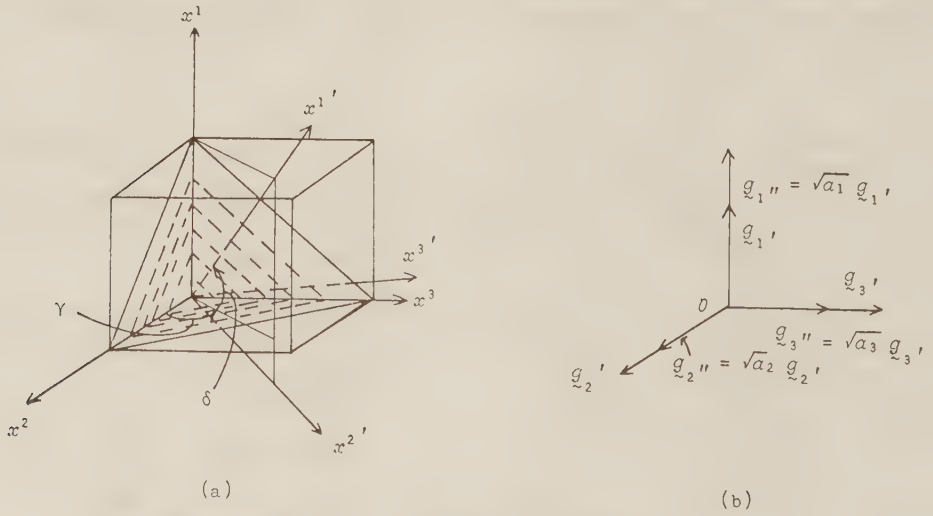


図4　参照座標の変換，(a) 堆積面に垂直及び平行な座標系への変換，(b) 異方性に応じた座標変換．

Fig. 4　Transformation of the reference coordinate system to the one,
(a) orthogonal and parallel to the bedding plane of soil
(b) depending on the degree of anisotropy of soil.

合と同様に，式(8)～(10)の関係がある。

$$g_{i'} = t^{i}_{i'}\, g_{i} \quad , \quad g_{i} = t^{i'}_{i}\, g_{i'} \qquad \cdots\cdots(8)$$

$$\sigma^{i'j'} = t^{i'}_{i}\, t^{j'}_{j}\, \sigma^{ij} \quad , \quad \sigma^{ij} = t^{i}_{i'}\, t^{j}_{j'}\, \sigma^{i'j'} \qquad \cdots\cdots(9)$$

$$t^{i'}_{i}\, t^{i}_{j'} = \delta^{i'}_{j'} \quad , \quad t^{i}_{i'}\, t^{i'}_{j} = \delta^{i}_{j} \qquad \cdots\cdots(10)$$

ここに，$\delta^{i'}_{j'}$，δ^{i}_{j} はクロネッカーのデルタである。いま，σ^{ij} と $\sigma^{i'j'}$ の関係を次のように表わす。

$$\sigma^{i'j'} = \sigma^{ij}\, t^{i'}_{i}\, t^{j'}_{j} \quad , \quad \sigma^{ij} = t^{i}_{i'}\, t^{j}_{j'}\, \sigma^{i'j'} \qquad \cdots\cdots(11)$$

このとき，変換係数 $t^{i'}_{i}$，$t^{j'}_{j}$ は，式(6)，(9)より，次のように表わされる。

$$t^{i'}_{i} = t^{i'}_{i'}\, t^{i}_{i} \quad , \quad t^{i}_{i'} = t^{i}_{i}\, t^{i}_{i'} \qquad \cdots\cdots(12)$$

つぎに，これらの座標系がいずれも直交デカルト座標系である場合を考える。図4 (a) に示したように，x^1 軸と $x^{1'}$，$x^{2'}$ 軸は同一面内にあるとし，この面と x^2 軸とのなす角を γ とする。また，x^2 軸と x^3 軸のつくる面と $x^{1'}$ 軸とのなす角を δ とする。このとき，式(6)，(7)に示した変換係数 $t^{i}_{i'}$ を行列表示で示すと次のようになる。

$$(t^{i}_{i'}) = \begin{bmatrix} \sin\delta & \cos\gamma\cdot\cos\delta & \sin\gamma\cdot\cos\delta \\ -\cos\delta & \cos\gamma\cdot\sin\delta & \sin\gamma\cdot\sin\delta \\ 0 & -\sin\gamma & \cos\gamma \end{bmatrix} \qquad (13)$$

ただし，この変換は直交変換であるから，次式が成立する。

$$(t^{i}_{i'})^{T} = (t^{i}_{i'})^{-1} \qquad \cdots\cdots(14)$$

ここに，$(t^{i}_{i'})^{T}$，$(t^{i}_{i'})^{-1}$ は，それぞれ $(t^{i}_{i'})$ の転置行列及び逆行列である。

つぎに，基底ベクトル $(g_{i'})$ と $(g_{i'})$ の関係を次のように表わす。

$$g_{1'} = \sqrt{a_1}\, g_{1'},\quad g_{2'} = \sqrt{a_2}\, g_{2'},\quad g_{3'} = \sqrt{a_3}\, g_{3'} \qquad \cdots(15)$$

ここに，a_1，a_2，a_3 は土の異方性の度合を表わす係数であり実験定数である。このとき，式(9)，(10)に示した座標変換係数 $t^{i}_{i'}$ の行列表示は次のように表わされる。

$$(t^{i}_{i'}) = \begin{bmatrix} \sqrt{a_1} & 0 & 0 \\ 0 & \sqrt{a_2} & 0 \\ 0 & 0 & \sqrt{a_3} \end{bmatrix} \qquad \cdots\cdots(16)$$

ここで，$(t^{i}_{i'})$ が対称行列であることを考慮すると，

$$\delta^{i'}_{i'} = t^{i}_{i'}\, t^{i'}_{i} = t^{i}_{i'}\, t^{i'}_{i}$$

であるから，次式が成立する。

$$(t^{i'}_{i}) = (t^{i}_{i'})^{-1} \qquad \cdots\cdots(17)$$

式(14)，(17)を用いると，式(8)で示した変換行列 $(t^{i'}_{i})$，$(t^{i}_{i'})$ は次のように表わされる。

$$\left.\begin{aligned} (t^{i'}_{i}) &= (t^{i'}_{i'})\,(t^{i}_{i}) = (t^{i}_{i'})^{-1}(t^{i}_{i}) \\ (t^{i}_{i'}) &= (t^{i}_{i})\,(t^{i}_{i'}) = (t^{i}_{i})^{T}(t^{i}_{i'}) \end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots(18)$$

これより，$(t^{i'}_{i})$，$(t^{i}_{i'})$ はいずれも式(13)，(16)を用いて計算できる。ただし，式(18)中の $(t^{i}_{i'})^{-1}$ は次のように表わされる。

$$(t^{i}_{i'})^{-1} = \begin{bmatrix} \dfrac{1}{\sqrt{a_1}} & 0 & 0 \\ 0 & \dfrac{1}{\sqrt{a_2}} & 0 \\ 0 & 0 & \dfrac{1}{\sqrt{a_3}} \end{bmatrix} \qquad \cdots\cdots(19)$$

したがって，$t^{i'}_{i}$ は次のようになる。

$$(t^{i'}_{i}) = \begin{bmatrix} \dfrac{\sin\delta}{\sqrt{a_1}} & \dfrac{\sin\gamma\cos\delta}{\sqrt{a_1}} & \dfrac{\sin\gamma\cos\delta}{\sqrt{a_1}} \\ -\dfrac{\cos\delta}{\sqrt{a_2}} & \dfrac{\cos\gamma\sin\delta}{\sqrt{a_2}} & \dfrac{\sin\gamma\sin\delta}{\sqrt{a_2}} \\ 0 & -\dfrac{\sin\gamma}{\sqrt{a_3}} & \dfrac{\cos\delta}{\sqrt{a_3}} \end{bmatrix} \qquad \cdots(20)$$

座標変換行列 $(t^{i'}_{i})$ が分ったので，式(11)を用いることにより，実際の土に作用している応力テルソンが与えられたとき，変換後の応力テンソル $(\sigma^{i'j'})$ を計算することができる。

ここで，式(16)を用いて，応力テンソル $(\sigma^{i'j'})$ と (σ^{ij}) の関係を $a_i\,(i=1,\ 2,\ 3)$ を用いて表わすと，次のように表わされる。

$$(\sigma^{i'j'}) = \begin{bmatrix} \dfrac{\sigma^{1'1'}}{a_1} & \dfrac{\sigma^{1'2'}}{\sqrt{a_1}\sqrt{a_2}} & \dfrac{\sigma^{1'3'}}{\sqrt{a_1}\sqrt{a_3}} \\ & \dfrac{\sigma^{2'2'}}{a_2} & \dfrac{\sigma^{2'3'}}{\sqrt{a_2}\sqrt{a_3}} \\ Sym. & & \dfrac{\sigma^{3'3'}}{a_3} \end{bmatrix} \qquad \cdots\cdots(21)$$

特に応力状態 (σ^{ij}) が等方向応力状態のとき，すなわち，

$$\sigma^{ij} = p\cdot\delta^{ij} \qquad \cdots\cdots(22)$$

のとき，式(21)より，変換後の応力状態 $(\sigma^{i'j'})$ は次のように表わされる。

$$(\sigma^{i'j'}) = \begin{bmatrix} \dfrac{1}{a_1} & 0 & 0 \\ 0 & \dfrac{1}{a_2} & 0 \\ 0 & 0 & \dfrac{1}{a_3} \end{bmatrix} p \qquad \cdots\cdots(23)$$

2.2 異方圧密土の破壊時の応力状態

ここでは，異方性を有する土の破壊時の応力状態を示す関係式を導びく。ここで，一次元的に堆積した地盤を考えるので，土は $x^{2'}$ 軸方向と $x^{3'}$ 軸方向に同じ異方性の度合を有するものとする。すなわち，式(15)において，次の条件が満足されるものとする。

$$a_2 = a_3 \qquad \cdots\cdots(24)$$

ここでは，式(24)を満足する異方性を積層異方性と呼ぶ。

さて，異方圧密土の破壊時の応力状態は，等方圧密土の破壊時の応力状態を表わす関係式，すなわち，土の破壊基準をもとにして，次のように表わされるものと仮定する。すなわち，ある応力状態 (σ^{ij}) が与えられたと

き，式(11)を用いると，2回座標変換を受けた後の応力状態 $(\sigma^{i''j''})$ が求められる。この変換後の応力状態 $(\sigma^{i''j''})$ が等方圧密土（仮想等方圧密土と呼ぶ）の破壊基準を満足するとき，実際の土が破壊するものとする。仮想等方圧密土の破壊基準式として，ここでは，松岡，中井[1]による次式を用いる。

$$\frac{I_{1''}I_{2''}}{9I_{3''}}-1=X''^2 \quad \cdots\cdots(25)$$

ここに，$I_{1''}$，$I_{2''}$，$I_{3''}$ は応力テンソル $(\sigma^{i''j''})$ の第1，第2，第3不変量であり，次のように表わされる。

$$I_{1''}=\sigma^{1''1''}+\sigma^{2''2''}+\sigma^{3''3''}$$
$$=\sigma^{1''}+\sigma^{2''}+\sigma^{3''} \quad \cdots\cdots(26)$$

$$I_{2''}=\begin{vmatrix}\sigma^{2''2''} & \sigma^{2''3''}\\ \sigma^{3''2''} & \sigma^{3''3''}\end{vmatrix}+\begin{vmatrix}\sigma^{3''3''} & \sigma^{3''1''}\\ \sigma^{1''3''} & \sigma^{1''1''}\end{vmatrix}+\begin{vmatrix}\sigma^{1''1''} & \sigma^{1''2''}\\ \sigma^{2''1''} & \sigma^{2''2''}\end{vmatrix}$$
$$=\sigma^{2''}\sigma^{3''}+\sigma^{3''}\sigma^{1''}+\sigma^{1''}\sigma^{2''} \quad \cdots\cdots(27)$$

$$I_{3''}=\begin{vmatrix}\sigma^{1''1''} & \sigma^{1''2''} & \sigma^{1''3''}\\ \sigma^{2''1''} & \sigma^{2''2''} & \sigma^{2''3''}\\ \sigma^{3''1''} & \sigma^{3''2''} & \sigma^{3''3''}\end{vmatrix}=\sigma^{1''}\sigma^{2''}\sigma^{3''} \quad \cdots\cdots(28)$$

ここに，$\sigma^{1''}$，$\sigma^{2''}$，$\sigma^{3''}$ は，$(\sigma^{i''j''})$ の主応力を表わす。他方，式(25)において，X'' は定数であるが，仮想等方圧密土の軸対称応力条件下での破壊時の内部摩擦角を ϕ'' とすると，次の関係がある。

$$X''=\frac{2\sqrt{2}}{3}\tan\phi'' \quad \cdots\cdots(29)$$

ここで，

$$\alpha=\frac{a_1}{a_3} \quad \cdots\cdots(30)$$

とおくと，式(21)より，$I_{i''}$（$i''=1$，2，3）は次の形に書ける。

$$\left.\begin{aligned}I_{1''}&=\frac{1}{a_1}f_1(\sigma^{i'j'},\ \alpha)\\ I_{2''}&=\frac{1}{a_1^2}f_2(\sigma^{i'j'},\ \alpha)\\ I_{3''}&=\frac{I_{3'}}{a_1a_3^2}=\frac{1}{a_1a_3^2}f_3(\sigma^{i'j'})\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(31)$$

ここに，$I_{3'}$ は $\sigma^{i'j'}$ の第3不変量である。式(31)を式(25)に代入すると，松岡，中井[1]の破壊基準は次のように表わされる。

$$X''^2=\frac{f_1f_2}{9\alpha^2f_3}-1=f(\sigma^{i'j'},\alpha) \quad \cdots\cdots(32)$$

これより，式(25)で表わされる破壊基準式は，a_1，a_3 の値には関係なく，その比 α との応力テンソル $(\sigma^{i'j'})$ で表わされることが分る。$(\sigma^{i'j'})$ は実際の土に作用している有効応力 (σ^{ij}) と座標軸 $x^{i'}$ の傾き $(\gamma,\ \delta)$ の関数であるから，結局，破壊基準式(25)は，次のように表わされる。

$$F(\sigma^{ij},\ \alpha,\ \gamma,\ \delta,\ \phi'')=0 \quad \cdots\cdots(33)$$

ここで，破壊時のパラメーター X''，又は仮想等方圧密土の内部摩擦角 ϕ'' に課される条件を求める。このとき，少なくとも，等方応力状態で土は破壊しないとする。等方応力状態での2回変換後の応力テンソル $(\sigma^{i''j''})$ は式(23)で表わされるから，$a_2=a_3$ のとき，上述の条件は次のようになる。

$$\sin\phi''>\frac{|a_1-a_3|}{a_1-a_3}\ \frac{|\alpha-1|}{\alpha+1} \quad \cdots\cdots(34)$$

これより，α は次の条件を満たさなければならない。

i　$\alpha>1$ のとき

$$\alpha<\frac{1+\sin\phi''}{1-\sin\phi''} \quad \cdots\cdots(35)$$

ii　$\alpha<1$ のとき

$$\alpha>\frac{1-\sin\phi''}{1+\sin\phi''} \quad \cdots\cdots(36)$$

2.3 軸対称応力条件下での破壊時の応力状態

ここでは，軸対称応力条件下，すなわち，

$$\sigma^{11}=\sigma_x\ ,\quad \sigma^{22}=\sigma^{33}=\sigma_z \quad \cdots\cdots(37)$$

他の σ^{ij} はすべてゼロの場合について，破壊時の応力状態を求める。このとき，$(\sigma^{i''j''})$ は式(11)，(13)，(16)，(18)を用いて次のように書ける。

$$\left.\begin{aligned}\sigma^{1''1''}&=\frac{\sigma_x\sin^2\delta+\sigma_z\cos^2\delta}{a_1}\\ \sigma^{2''2''}&=\frac{\sigma_x\cos^2\delta+\sigma_z\sin^2\delta}{a_3}\\ \sigma^{3''3''}&=\frac{\sigma_z}{a_3}\\ \sigma^{1''2''}&=\sigma^{2''1''}=-\frac{(\sigma_x-\sigma_z)\sin\delta\ \cos\delta}{\sqrt{a_1a_3}}\\ &\text{他の } \sigma^{i''j''} \text{ はすべてゼロ}\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(38)$$

これより，不変量 $I_{i''}$（$i''=1$，2，3）は次のようになる。

$$\left.\begin{aligned}I_{1''}&=\frac{\sigma_x}{a_1}(\sin^2\delta+\alpha\cdot\cos^2\delta)\\ &\quad+\frac{\sigma_z}{a_3}\left(\frac{\cos^2\delta}{\alpha}+\sin^2\delta+1\right)\\ I_{2''}&=\frac{\sigma_x\cdot\sigma_z}{a_1\cdot a_2}(\sin^2\delta+\alpha\cdot\cos^2\delta+1)\\ &\quad+\left(\frac{\sigma_z}{a_3}\right)^2(\sin^2\delta+\frac{\cos^2\delta}{\alpha})\\ I_{3''}&=\frac{\sigma_x\cdot\sigma_z^2}{a_1\cdot a_3^2}\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(39)$$

これを破壊条件式(25)に代入して解くと，破壊時の応力比 R は次のように表わされる。

i)　$\sigma_x>\sigma_z$（三軸圧縮）のとき，

$$R_C=\left(\frac{\sigma_x}{\sigma_z}\right)_f=\frac{-B+\sqrt{D}}{2Ac} \quad \cdots\cdots(40)$$

ii)　$\sigma_x<\sigma_z$（三軸伸張）のとき，

$$R_E=\left(\frac{\sigma_z}{\sigma_x}\right)_f=\frac{-B+\sqrt{D}}{2A_E} \quad \cdots\cdots(41)$$

ここに，

$$
\left.\begin{aligned}
A_C &= \left(\frac{\sin^2\delta}{\alpha}+\cos^2\delta\right)\left(\alpha\cdot\cos^2\delta+\sin^2\delta+1\right)\\
A_E &= \left(\alpha\cdot\sin^2\delta+\cos^2\delta\right)\left(\frac{\cos^2\delta}{\alpha}+\sin^2\delta+1\right)\\
B &= -(9X''^2+4)\left(\alpha+\frac{1}{\alpha}-2\right)\\
&\quad\cdot\cos^2\delta(1+2\sin^2\delta)\\
D &= 9X''^2(9X''^2+8)+\left(\alpha+\frac{1}{\alpha}-2\right)^2\cos^4\delta\\
&\quad+6\left(\alpha+\frac{1}{\alpha}-2\right)\cos^2\delta\{1-3(X''^2+1)\\
&\quad\cdot(1+2\sin^2\delta)\}
\end{aligned}\right\}\quad(42)
$$

式(41)より，破壊時の応力比 R_C，又は R_E は α，δ，X''(又は，ϕ'') で表わされている。このときは，軸対称応力条件であるので γ に関係しない。

特に，式(41)において，$\delta=90°$ のとき，次式を得る。

$$R_C=\alpha\cdot R''\quad,\quad R_E=\frac{R''}{\alpha},\quad \frac{R_C}{R_E}=\alpha^2 \cdots\cdots(43)$$

ここに，R'' は仮想等方圧密土の破壊時の応力比であり，ϕ'' と次の関係がある。

$$R''=\frac{1+\sin\phi''}{1-\sin\phi''} \cdots\cdots(44)$$

3. 解析結果と考察

3.1 計算方法

ここに示した異方圧密土の破壊基準は，式(3)に示したように応力テンソルにより表わされているから，任意の応力状態で計算することができる。しかし，ここでは，相異る3主応力下の場合と軸対称応力条件下の場合について，異方圧密土の破壊時の応力状態の計算を行い，考察を加えている。

3主応力 σ_x，σ_y，σ_z が与えられたとき，平均主応力 p は次のように表わされる。

$$p=\frac{1}{3}(\sigma_x+\sigma_y+\sigma_z) \cdots\cdots(45)$$

また，せん断応力 q を次のように定義する。

$$q=\left[\frac{1}{2}\left\{(\sigma_x-\sigma_y)^2+(\sigma_y-\sigma_z)^2+(\sigma_z-\sigma_x)^2\right\}\right]^{1/2} \cdots\cdots(46)$$

ここで，応力比 η を次のように定義する

$$\eta=\frac{q}{p} \cdots\cdots(47)$$

いま，図5 (a) に示したように，3主応力を座標軸とする空間で表わされる応力状態 (σ_x，σ_y，σ_z) の位置を P とする。点 P より静水圧軸 ($\sigma_x=\sigma_y=\sigma_z$ で表わされる直線) 上に下した垂線の足を H とする。このとき，図に示したように，$\overline{OH}=\sqrt{3}\,p$，$\overline{PH}=\sqrt{2/3}\,q$ である。図5 (b) は，同図 (a) の関係を π 面 ($\sigma_x+\sigma_y+\sigma_z=0$ で表わされる面) 上に静水圧軸方向から投影したものである。このとき，図に示したように，σ_x 軸と $\overline{OP}$ とのなす角を θ とするとき，これは次のように表わされる。

$$\cos 3\theta=\frac{1}{2q^3}(2\sigma_x-\sigma_y-\sigma_z)(2\sigma_y-\sigma_z-\sigma_x)\times(2\sigma_z-\sigma_x-\sigma_y) \cdots\cdots(48)$$

逆に，p，η，θ が与えられたとき，主応力 σ_x，σ_y，σ_z は次のように表わされる。

$$
\left.\begin{aligned}
\sigma_x &= p\left(1+\frac{2}{3}\eta\cdot\cos\theta\right)\\
\sigma_y &= p\left\{1+\frac{2}{3}\eta\cdot\cos\left(\theta-\frac{2}{3}\pi\right)\right\}\\
\sigma_z &= p\left\{1+\frac{2}{3}\eta\cdot\cos\left(\theta+\frac{2}{3}\pi\right)\right\}
\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(49)
$$

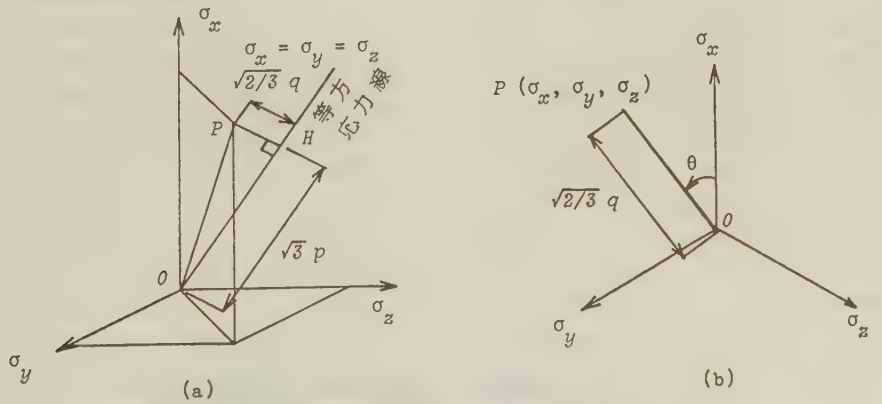


図 5 (a) 3主応力空間での応力状態の表現，(b) π 面上での応力状態の表現．

Fig. 5 Representation of the stress state, (a) in three principal stress space, and (b) on the π-plane.

いま，仮想等方圧密土の内部摩擦角 ϕ'' 及び異方性の度合を表わすパラメーター α が与えられたとき，その傾きが (γ, δ) で表わされる積層異方性を有する土の破壊時の応力状態を，式(45)～(49)の関係を用いることにより，次のように求める。すなわち，p 及び θ の1つの値に対し，η をゼロから土の破壊基準式(25)を満足するまで次第に増加する。ある応力状態 (p, η, θ) に対して，式(49)より，3主応力状態 $(\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z)$ が求まる。$(\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z)$ が求まると，前章で説明した方法により，2回座標変換後の応力テンソル $(\sigma''/'')$ が求まるので，この応力状態が式(25)で示される仮想等方圧密土の破壊基準を満足しているかどうか調べる。異方性パラメーター α が式(35)，または，式(36)を満足するとき，η をゼロから次第に増加するとき，必ず，式(25)を満足する応力状態にぶつかり，破壊時の応力状態を求めることができる。この操作を任意の (p, θ) に対して行えば，これに対する破壊時の応力状態 (p, θ, η) が求まり，また，式(49)より，これに対応する $(\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z)$ が求まる。

ここで，式(49)に着目すると，3主応力 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ はいずれも η, θ で表わされる関数と平均主応力 p との積になっている。したがって，このような形で表わされる3主応力 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ を2回座標変換して破壊基準式(25)に代入するとき，式(25)は分母，分子が同次の応力比の形で表わされているので，結局，p は約されて，η, θ のみが破壊基準式に残ることになる。すなわち，破壊基準式は応力比 η と応力ベクトルの偏角 θ のみで表わされるから，図5 (a) に示した3主応力空間では，破壊時の応力状態は，原点を頂点とするある錐面で表わされることが分る。

軸対称応力条件の場合，$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ の3主応力のうち，いずれか2つが等しい場合であるから，上の場合の特殊の場合として同様に計算することができる。

3.2 3主応力下での破壊時の応力状態

前節で述べた方法により，3主応力下での異方圧密土の破壊時の応力状態を求めた。前節において，破壊時の応力状態は，応力比 η と応力ベクトルの偏角 θ（図5 (b) 参照）により表わされ，これを $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ を座標軸とする3主応力空間で表わすと，原点を頂点とする錐面で表わされることを述べた。このとき，この π 面と，静水圧軸に垂直な任意の平面との交線の π 面（図5 (b) 参照）への投影は互いに相似となる。したがって，このような場合，π 面へ投影された形を見れば，その破壊基準の特性が分る。図6 (a) は，破壊面が静水圧軸を中心軸とする円錐で示される場合を示している。この場合，破壊面と静水圧軸に垂直な平面との交線の π 面への投影は同図 (b) に示したように円となる。

ここで，π 面上での応力状態について考える。図6 (b) に示したように，π 面上において $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ の各軸の正の方向の軸上に投影される応力状態は，三軸圧縮状

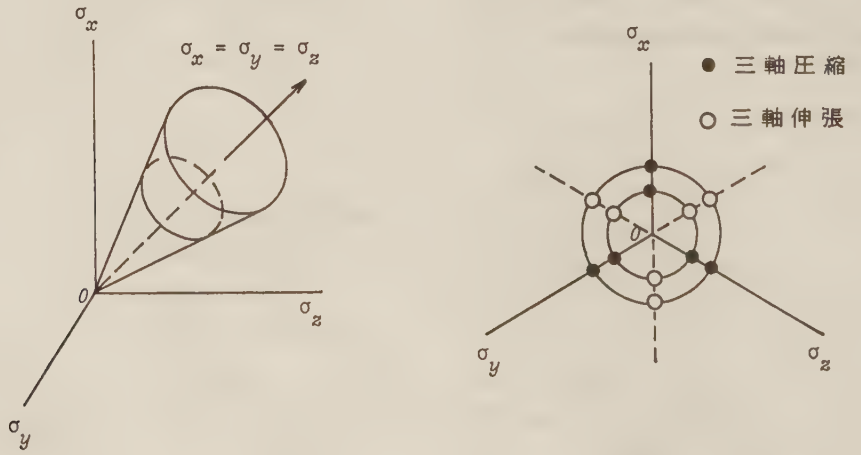


図 6 (a) 3主応力空間での破壊曲面，(b) 破壊曲面の π 面への投影（円錐の場合）.

Fig. 6 (a) Failure surface represented by a cone in three principl stress space, (b) projection of the failure surface onto the π-plane.

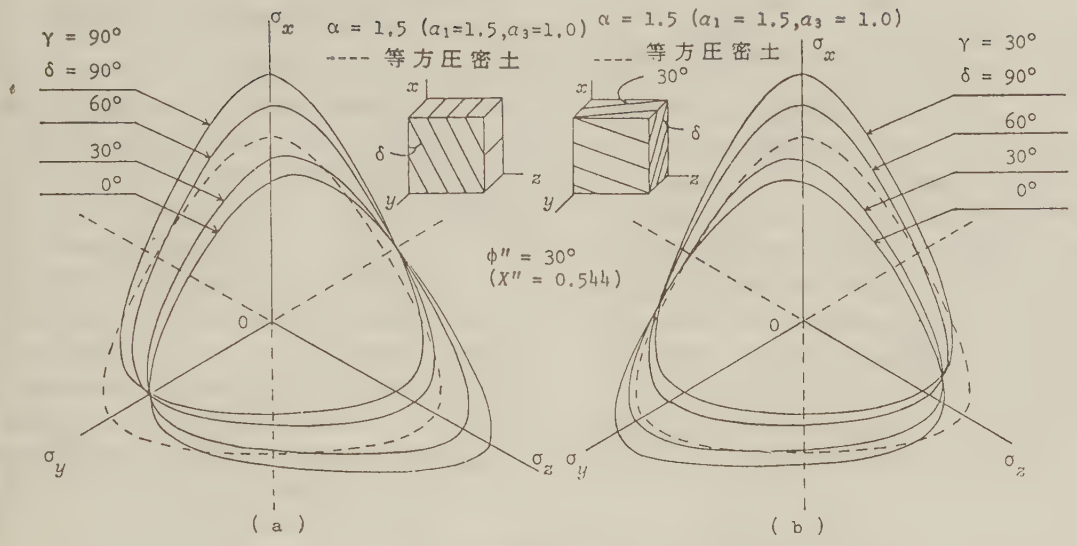


図 7　3 主応力下での破壊曲面の形状，(a)$\gamma=90°$，(b)　$\gamma=30°$.

Fig. 7　Cross sections of failure surface onto the π-plane at γ equal to (a) 90° and (b) 30°.

態を表わしている。いま，最大，中間及び最小の主応力をそれぞれ σ_1, σ_2, σ_3, $(\sigma_1 \geqq \sigma_2 \geqq \sigma_3)$ で表わすとき，三軸圧縮状態は $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$ で表わされる。他方，σ_x, σ_y, σ_z の各軸の負の方向の軸上にプロットされる 応力状態は，三軸伸張状態を示しており，$\sigma_1 = \sigma_2 > \sigma_3$ で表わされる。堆積面の傾きの変化による方向の破壊強度の比較を行うとき，その方向の圧縮強度又は伸張強度に注目すれば比較し易い。例えば，x 軸方向の圧縮強度を比較しようと思えば，破壊面の π 面上への投影と σ_x 軸の正の方向の交点の原点からの長さを比較すればよい。

初めに，異方圧密土の破壊面と静水圧軸に垂直な平面との交線の π 面への投影についてみる。図 7 は，仮想等方圧密土の内部摩擦角 ϕ'' が 30° で異方性パラメーター α が 1.5 の場合について，π 面上での破壊曲面の形状を示している。同図 (a) は，$\gamma=90°$，すなわち，堆積面が y 軸に平行な場合について，$\delta=0°$, 30°, 60°, 90° の場合の計算結果である。同図中には，等方圧密土 $(\alpha=1)$ の場合を破線で示している。この図において，$\delta=90°$ の場合は堆積面が x 軸に垂直である。このとき，x 軸方向の圧縮強度が y 軸方向及び z 軸方向のそれに比べ大きく，且つ，等方圧密土（破線）のそれよりも大きくなっている。また，破壊曲面の投影は σ_x 軸に関して対称となっている。一方，三軸伸張強度をみると，x 軸方向が y 軸方向，z 軸方向に比べ小さく，且つ，等方圧密土のそれよりも小さくなっている。δ が 90° から減少するに従い，x 軸方向の圧縮強度は減少し，z 軸方向のそれは増加するが，y 軸方向のそれは一定である。$\delta=0°$ では，堆積面が z 軸に垂直になるので，z 軸方向の強度が最大となり，x 軸方向と y 軸方向のそれは等しくなる。破壊線の形は σ_z 軸に関して対称となる。この図において，y 軸方向の三軸圧縮及び伸張強度が変化していないのは，堆積方向が y 軸に平行なためである。

図 7 (b) は，$\gamma=30°$ の場合を示している。$\delta=90°$ のときは，堆積面は x 軸に直角となるので，圧縮強度は x 軸方向が最大となり，y 軸と z 軸方向は同じとなる。すなわち，破壊面は σ_z 軸に関して対称となる。δ が 90° から減少するに従い，y 軸方向と z 軸方向の圧縮強度が増加していくが，その増加の仕方は y 軸方向が大きい。$\delta=0°$，すなわち，堆積面が x 軸に平行のとき，y 軸方向の圧縮強度が最大で x 軸方向のそれが最小，z 軸方向のそれが中間の値をとっている。

以上において，3 主応力空間において表わされる破壊曲面の形状をその π 面上への投影でみてきた。これらの結果より，ここに示した理論が 3 主応力状態において，妥当な結果を与えることが分った。

次に，図 5 で示した π 面上での応力ベクルトの偏角 θ の代表的な値に対して，破壊時の応力状態が異方性パラメーター α とともにどのように変化するかをみる。図 8 は，$\phi''=30°$ の場合について，$\theta=15°$ と 30° の場合の計算結果を示している。ただし，$\theta=15°$ 及び 30° のときは，式(9)から分るように，σ_x, σ_y, σ_z がそれぞれ，最大主応力 σ_1，中間主応力 σ_2，最小主応力 σ_3 となる

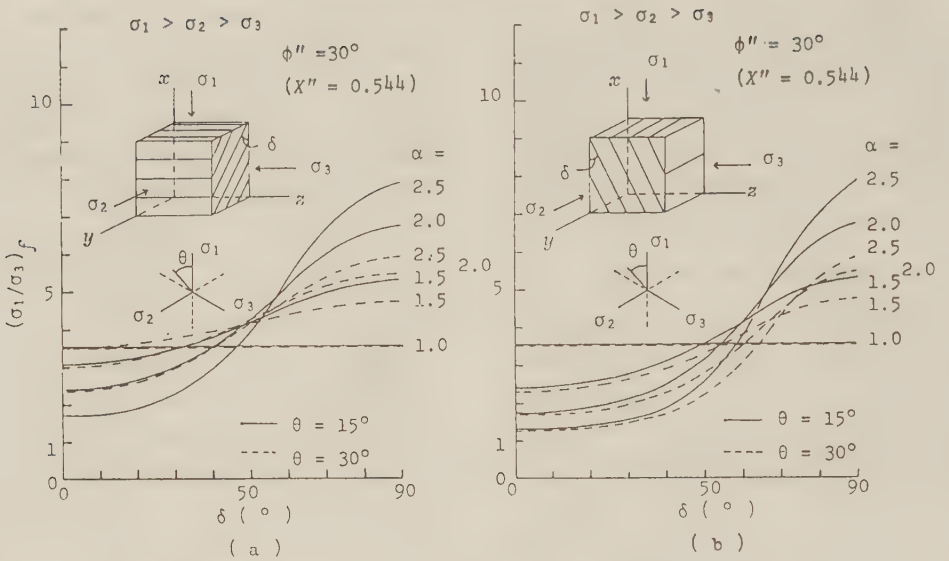


図 8 破壊時の応力比 $(\sigma_1/\sigma_3)_f$ と δ の関係，(a) $\gamma=0°$，(b) $\gamma=90°$.

Fig. 8 Relationships between stress ratio, $(\sigma_1/\sigma_3)_f$, and δ at γ equal to (a) 0° and (b) 90°.

$(\sigma_1 \geqq \sigma_2 \geqq \sigma_3)$。図 8 (a) は，$\gamma=0°$，すなわち，堆積面が z 軸に平行な場合について，破壊時の応力比 $(\sigma_1/\sigma_3)_f$ $(=(\sigma_x/\sigma_z)_f)$ と堆積面の傾斜角 δ の関係を，α をパラメーターとして表わしている。図より分るように，等方圧密土 ($\alpha=1$) の場合は，破壊強度に方向性はないから，$(\sigma_1/\sigma_3)_f$ は δ に対して一定である。また，このとき，$\theta=15°$ の場合が $\theta=30°$ の場合に比べ，わずかに大きい $(\sigma_1/\sigma_3)_f$ を示している。これは，図 7 の等方圧密土に対する破壊曲線（破線）から容易に分る。α が 1 より大きい場合，破壊時の応力比 $(\sigma_1/\sigma_3)_f$ は $\delta=0°$ (堆積面が y 軸に垂直) の場合が最小で，$(\sigma_1/\sigma_3)_f$ は δ の増加とともに増加し，$\delta=90°$ (堆積面が x 軸に垂直) のとき，最大となる。すなわち，破壊強度は異方性を有する。この際，α が大きくなる程，$(\sigma_1/\sigma_3)_f$ の δ による変化が大きくなり，α が異方性の度合を表わすパラメーターであることを示している。同じ α の値に対して，応力ベクトルの偏角 θ が 15° の場合（実線）と 30° の場合（破線）を比較すると，$\theta=15°$ の場合が，$(\sigma_1/\sigma_3)_f$ の δ に対する変化の度合は大きい。すなわち，δ の小さい部分では $\theta=15°$ の場合の $(\sigma_1/\sigma_3)_f$ が $\theta=30°$ の場合の $(\sigma_1/\sigma_3)_f$ より小さいが，δ が大きくなるとこの傾向は逆転して，$\theta=15°$ の場合の $(\sigma_2/\sigma_3)_f$ が $\theta=30°$ の場合のそれより大きくなる。

図 8 (b) は，$\gamma=90°$ の場合，すなわち，堆積面が y に平行な場合について，同図 (a) と同様に，計算結果を示したものである。同図 (a) の場合とほぼ同様の傾向を示しているが，$\alpha>1$ の場合の各 $(\sigma_1/\sigma_3)_f \sim \delta$ 曲線と $\alpha=1$（等方圧密土）のそれとの交点の位置が δ の正の方向にずれている。また，同じ α に対して，$\theta=15°$ の場合と 30° の場合を比べると，$\theta=30°$ の場合（破線）が δ の値に関係なく，常に，$\theta=15°$ の場合（実線）より小さい $(\sigma_1/\sigma_3)_f$ を示すている。

図 1 (a) に示したように，積層異方性を有する地盤上に比較的細長い構造物が築造されるとき，平面ひずみ条件が満足される。このような条件下では，中間主応力方向が堆積面に平行になるので，図 8 (b) の場合に対応する。また，平面ひずみ条件下で土がせん断を受けるとき，応力ベクトルの偏角 θ は 15° から 30° の間にある場合が多い。すなわち，図 8 (b) は，図 1 (a) に示した平面ひずみ条件下での土の破壊強度の異方性を示したものと考えることができる。この図から分るように，土の破壊強度の異方性の度合が大きくなればなる程，主応力方向が変化することにより破壊強度は大きく影響を受けることが分る。また，α が同じ場合，θ が異ることにより，破壊強度に大きな違いがみられる。特に，この傾向は θ が 90° に近い程，すなわち，図 1 (a) の場合の載荷部に近い程，顕著に現われる。したがって，図 1 (a) に示したような平面ひずみ条件下での基礎の安定を考えるとき，土の異方性パラメーター α を正しく評価するとともに，平面ひずみ条件下での応力ベクトルの偏角 θ をできるだけ正確に求めることが重要である。

3.3 軸対称応力下での破壊時の応力状態

ここでは，一軸又は三軸試験の場合の応力条件である軸対称応力条件下での異方圧密土の破壊時の応力状態の計算結果を示す。計算では，x 軸を対称軸にとっている。したがって，y 軸方向と z 軸方向の主応力は等しい（$\sigma_y=\sigma_z$）。このような応力条件下での破壊時の応力状態は式(40)～(42)で計算される。このとき，式(42)から分るように，破壊時の応力状態は γ には無関係である。

図9 (a)，(b) は，それぞれ三軸圧縮下（$\sigma_x>\sigma_y=\sigma_z$）及び三軸伸張下（$\sigma_x<\sigma_y=\sigma_z$）での破壊時の応力状態と堆積面の傾斜角 δ の関係を示している。ただし，これらの図においては，式(47)で示される応力比 η を半径とし，堆積面の傾斜角 δ を横軸からの偏角とする極座標表示で示している。三軸圧縮下及び伸張下での応力比 η_C 及び η_E は，主応力比 $(\sigma_1/\sigma_3)_f$ で次のように表わされる。

$$\left.\begin{aligned}\eta_C&=3\frac{(\sigma_x/\sigma_z)_f-1}{(\sigma_x/\sigma_z+2)}=3\frac{(\sigma_1/\sigma_3)_f-1}{(\sigma_1/\sigma_3)_f+2}\\ \eta_E&=3\frac{(\sigma_z/\sigma_x)_f-1}{1+2(\sigma_x/\sigma_z)_f}=3\frac{(\sigma_1/\sigma_3)_f-1}{1+2(\sigma_1/\sigma_3)_f}\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(50)$$

図9 (a) の三軸圧縮条件下の場合をみると，等方圧密土（$\alpha=1$）の場合，η_C は δ に関係なく一定である。$\delta=0°$（堆積面が x 軸に平行）では，α が1より大きくなり，土の破壊強度の異方性が増加するに従い，破壊時の応力比 η_C は減少する。すなわち，同じ平均主応力 p に対する軸差応力 q（$=\sigma_1-\sigma_3$）が減少する。他方，$\delta=90°$（堆積面が x 軸に垂直）では，α が1から増大するに従い，η_C は増加する。また，1より大きい1つの α の曲線についてみると，δ の増加とともに η_C は増加する。

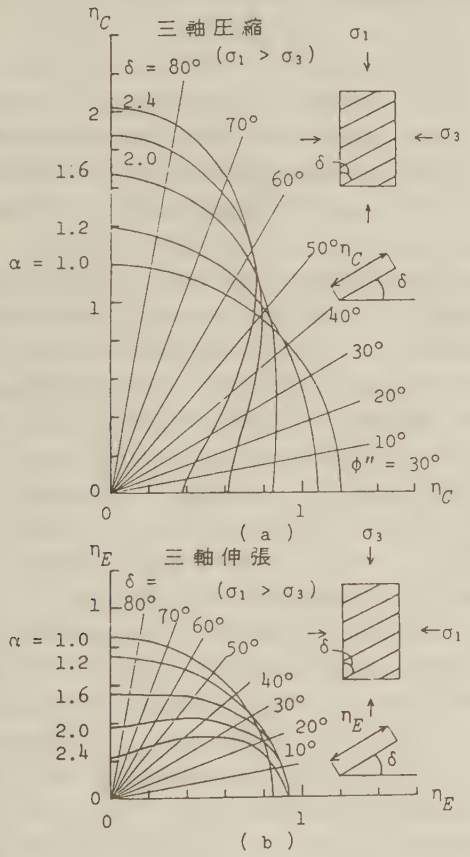


図 9　破壊強度と δ の関係，(a) 三軸圧縮，(b) 三軸伸張.

Fig. 9　Relationships between stress ratio, η, at failure and δ under triaxial (a) compression and (b) extension.

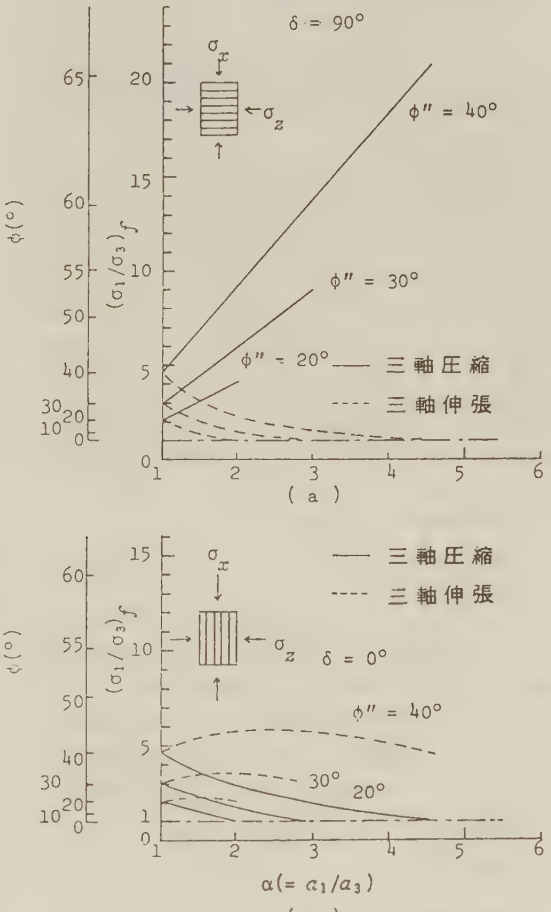


図 10　軸対称条件下での破壊強度と α の関係.

Fig. 10　Relationsnips between stress ratio, $(\sigma_1/\sigma_3)_f$, and α under axisymmetric stress condition at δ equal to (a) 90° and (b) 0°.

図9（b）は，三軸伸張条件下（$\sigma_x<\sigma_y=\sigma_z$）における関係を示している。等方圧密土（$\alpha=1$）では，破壊強度の異方性はないので，$\eta_E$ は δ に無関係に一定である。つぎに，$\alpha>1$ の場合をみる。$\delta=0°$（堆積面が x 軸に平行）では，α が1から1.2に変化する間に η_E は急激に増加するが，その後は α の増加とともにわずかに増加した後，わずかに減少する。$\delta=90°$（堆積面が x 軸に垂直）では，α の増加に従って，η_E は急激に減少する。したがって，この図から分るように，破壊時の応力比 η_E の α による影響は，δ が大きくなる程大きい。

図10は，仮想等方圧密土の内部摩擦角 ϕ'' が，20°，30°，40° の場合について，$\delta=90°$ と 0° のときの破壊時の応力比 $(\sigma_1/\sigma_3)_f$ と異方性パラメーター α の関係を示している。縦軸には同時に次式より計算される異方圧密土の内部摩擦角 ϕ も示した。

$$\sin\phi=\frac{(\sigma_1/\sigma_3)_f-1}{(\sigma_1/\sigma_3)_f+1} \quad \cdots\cdots(51)$$

ここに，σ_1，σ_3 はそれぞれ最大及び最小主応力であり，三軸圧縮下では，$\sigma_1=\sigma_x$，$\sigma_3=\sigma_z$，三軸伸張下では，$\sigma_1=\sigma_z$，$\sigma_3=\sigma_x$ である。

図10（a）に，$\delta=90°$ の場合の関係を示している。このときの関係は式(43)で与えられている。すなわち，三軸圧縮下での破壊時の応力比 R_C は異方性パラメーター α に比例し，三軸伸張下での破壊時の応力比 R_E は α に反比例する。図10（a）はこの関係を示している。三軸伸張下（破線）で，破壊時の応力比 R_E（$=\sigma_1/\sigma_3)_f$）が α の増加とともに減少し，ある α の値で等方応力状態を表わす $R_E=1$ の線（一点鎖線）と交わる。この点は，土が等方応力状態で破壊を生じる点であり，式(35)の不等式で示した極限の α の値に対応する。すなわち，このときの α は次のように表わされる。

$$\alpha=\frac{1+\sin\phi''}{1-\sin\phi''} \quad \cdots\cdots(52)$$

図10（b）は，$\delta=0°$ の場合の結果を示している。図より，三軸圧縮（実線）の場合をみると，破壊時の応力比 $(\sigma_1/\sigma_3)_f$ は α の増加とともに単調に減少して，式(52)で示される α の値で等方応力状態（一点鎖線）に達している。他方，三軸伸張下（破線）の場合，破壊時の応力比 $(\sigma_1/\sigma_3)_f$ は，α の増加とともに，初め増加するが，その後漸減する。しかし，他の場合と比べ，$(\sigma_1/\sigma_3)_f$ の変化は比較的少い。

3.4 実験定数の決定法

第2章において，異方圧密土の破壊強度に関する解析について述べ，3.2，3.3 でその解析結果を示した。ここに示した異方圧密土の破壊基準は式(33)に示したように，参照座標に対する積層方向の傾き角（γ，δ），異方性パラメーター α 及び仮想等方圧密土の内部摩擦角 ϕ'' が与えられたとき計算される。このうち，積層方向の傾き角（γ，δ）は，あらかじめ与えられるものである。したがって，本理論において，実験定数として実験的に決定すべき定数は α と ϕ'' である。ここで，これらの定数の決定法について述べる。

式(43)に，軸対称応力条件下で $\delta=90°$ のときの破壊時の応力比を示している。この式より，R_C と R_E が実験的に求まれば，2つの実験定数 α，R'' を決定することができる。R_C，R_E を求めるためには，堆積面に直角な方向が円柱供試体の軸方向に一致するように切り出した供試体について，三軸圧縮試験と伸張試験を行えばよい。このような試験は，比較的容易に行うことができるので，実験定数 R''（または，これより計算される ϕ''）と α は比較的容易に求めることができる。

4. 結　　論

本文は，堆積地盤のような積層異方性を有する土要素が，任意の応力条件下で負荷を受けたときの土の破壊時の応力状態を求める解析方法を示すとともに，代表的ないくつかの応力条件下での計算結果を示し，考察を加えたものである。

すなわち，異方圧密土の破壊基準は，等方圧密土の破壊基準をもとにして，次のように表わされるものと仮定している。まず，次のような2回の座標変換を行う。初めに，異方圧密土に作用している実際の応力状態が参照している座標系から，土の積層方向及びこれに直角方向に一致する座標系に直交変換を行い，この変換後の座標を，異方性の度合によりその基底ベクトルを伸縮させた座標に変換する。異方圧密土に作用している実際の応力状態を，このようにして得られた2回の座標変換により変換された後の座標に関する応力状態に変換する。そして，この変換後の応力状態が等方圧密土（仮想等方圧密土と呼ぶ）の破壊基準を満足するとき，異方圧密土は破壊すると仮定した。ここで，仮想等方圧密土の破壊基準として，松岡，中井[1]の基準を用いた。このような仮定のもとに得られた異方圧密土の破壊基準は，結局，式(33)に示したように，堆積方向の傾き角（γ，δ）と異方性の度合を表わすパラメーター α 及び仮想等方圧密土の軸対称応力条件下での内部摩擦角 ϕ'' をパラメーターとして表わされる。この破壊基準の具体的な計算法についても本文で示した。

ここに示した異方圧密土の破壊時の応力状態に関して，3主応力条件下及び軸対称応力条件下の場合につい

て，いくつかの解析結果を示すとともに考察を加えた。初めに，3主応力下での解析結果より，次のことが明らかになった。

1) ここに示した異方圧密土の破壊基準は，応力比 η と応力ベクトルの偏角 θ で表わされるので，3主応力空間では，原点を頂点とする錐面で表わされ，これを静水圧軸に垂直な平面との交線の π 面への投影で表わすと，図7のようになる。

2) 図7 (a) に示したように，堆積面に平向な方向の圧縮強度及び伸張強度は，堆積面の傾斜角 δ によって影響を受けない。

3) 破壊時の応力比 $(\sigma_1/\sigma_3)_f$ は，堆積面と最大主応力方向のなす角 δ が小さい程，応力ベクトルの偏角 θ による影響は小さい。逆に，δ が 90° に近づくに従い，この影響は大きくなる。特に異方性パラメーター α の値が大きい程，この傾向は顕著である（図8参照)。

4) 仮想等方圧密土の内部摩擦角 ϕ'' の1つの値に対し，式(52)で計算される α では，土は等方応力条件下で破壊することになり，これにより1より大きい α に対しては，式(35)の制約が必要である（図10参照)。

軸対称応力条件下の異方圧密土の破壊時の応力状態に関して，次のことが明らかになった。

1) 三軸圧縮下において，α が1より大きいとき，η_C は堆積面が最大主応力方向に垂直な場合が最大で，平行な場合が最小となる。そして，堆積面と最大主応力方向のなす角 δ が 90° から減少するに従い，η_C も漸減するが，この漸減の仕方は，異方性パラメーター α が大きい程，大きい。三軸伸張下においては，三軸伸張強度 η_E は，堆積面が最小主応力方向に平行のとき最大となり，最大主応力方向に平行のとき最小となる。これらの中間においては，δ の増加とともに漸減する。そして，この漸減の仕方は α が大きくなる程，大きくなる（図9参照)。

2) 堆積面が最大主応力方向に垂直のとき，三軸圧縮下での破壊時の応力比 $(\sigma_1/\sigma_3)_f$ は異方性パラメーター α に比例し，三軸伸張下のそれは α に反比例する。堆積面が最大主応力方向に平行のとき，三軸圧縮下での破壊時の応力比 $(\sigma_1/\sigma_3)_f$ は α とともに単調に減少する。他方，このときの三軸伸張下での破壊時の応力比 $(\sigma_1/\sigma_3)_f$ は α には大きく影響されない（図10参照)。

最後に，実験定数の決定法及び現場との関連において次の結論を得た。

1) 本解析法に必要な実験定数は異方性パラメーター α と仮想等方圧密土の内部摩擦角 ϕ'' の2つである。これらは式(43)を用いて，三軸圧縮試験と三軸伸張試験より，比較的容易に決めることができる。

2) 堆積地盤上に帯状荷重を作用するような2次元問題において，異方圧密土の破壊強度は異方性パラメーターに大きく影響されるので，これを精度よく決定する必要がある。また，平面ひずみ条件での破壊時の応力ベクトルの偏角 θ は，特に載荷部直下における地盤の破壊強度に大きく影響を与えるので，解析においては，平面ひずみ条件下での θ を精度よく見積ることが必要である。

参考文献

1) 松岡，中井：Stress-deformation and strength characteristics of soil under three different principal stress，土木学会論文報告集，No. 232，1974，pp. 59～70.

A Failure Criterion of Anisotropic Soil

By

Seiki Ohmaki

Summary

In this paper, a failure criterion of soil with stratified anisotropy is concerned. An analytical procedure is presented in which the stress state of stratified material such as sedimented soil at failure can be obtained under general stress conditions. Some analytical results on stress state of such material at fiilure are also shown.

It is shown in this paper that a failure criterion of soil with stratified anisotropy is given from a failure criterion of isotropic soil by using two coordinate transformations. The first transformation is the orthogonal one from the present coordinate system to such coordinate system that the directions of the coordinate axes are taken to be orthogonal and parallel to the direction of sedimentation plane of soil. The second transformation is carried out as follows. That is, the base vectors of the coordinate system are changed in length corresponding to the degree of anisotropy in respective directions with their directions kept unchanged. Then we notice the stress tensor field which is referred to the twice transformed coordinate system by the way described above. Here we assume that the real soil with stratified anisotropy fails when transformed stress tensor field thus obtained satisfies a failure criterion of isotropic soil which we call hypothetically isotropic soil. In this paper, Matsuoka and Nakai's (1974) failure criterion is used as the failure criterion of the hypothetically isotropic soil. It is shown that three kinds of parameters are necessary in order to give the stress state of soil with stratified anisotropy at failure. They are the inclination angle of the sedimentation plane of soil, anisotropy parameter which indicates the degree of anisotropy of soil, and the internal angle of hypothetically isotropic soil. Calculation method of the present failure criterion of stratified soil is also shown in this paper.

Using the failure criterion of soil proposed here, some analytical results on the stress state of stratified soil at failure are shown under the both conditions of three different principal stresses and axisymmetric stresses. From the analytical results, the present model gives the following feature under three different principal stress conditions. In the three principal stress condition, the failure criterion shown here is represented by a conical surface with an apex at origin of the coordinate. Some cross sections of this failure surface are shown for various values of inclination angle of sedimentation plane of soil. Some analytical results under axisymmetric stress condition are also shown, in which the influence of the inclination angle of sedimentation plane of soil, anisotropy parameter, and internal angle of friction of hypothetically isotropic soil are shown. Lastly the procedure of determining two experimental constants, that is, anisotropy parameter and internal angle of hypothetically isotropic soil is described.

水工研報告 4
1983 pp. 87～97

複数直列生簀の曳航時における抵抗軽減のための一つの試み

——剛体カバーと生簀の干渉効果を利用して——

川島敏彦*・小林　務*・有路　実*

目　次

1. 緒　言……87
2. 剛体カバーの適用……88
3. 抵抗軽減効果の水力学的検討……88
4. 抵抗軽減効果の算定式の考察……89
4.1 模型抵抗試験の概要……89
4.2 試験結果とパラメーターの考察……90
4.3 算定式の有効性……93
5. 剛体カバーの効果……95
5.1 実物抵抗試験による検証……95
5.2 抵抗軽減効果の一試算例……95
6. 結　言……96
参考文献……96
Summary……97

1. 緒　言

瀬戸内海沿岸におけるハマチ養殖が，ホルネリア赤潮の発生により大きな被害を受け社会問題となって久しい。香川県下の養殖漁業者は，この有害赤潮からの被害を回避するため，止むを得ず養殖魚を生簀ごと避難移動させることで対処した。それは養殖海域にて赤潮発生の兆候がみられると同時に，複数の生簀を直列に配置してこれを数隻の小型漁船にて赤潮の生じない海域に曳航し，赤潮の終息がみられる秋季に同様の方法で地場海域へ帰航するという方策であった。

生簀は網地から構成されるため，生簀の曳航時に流体から受ける抵抗の主成分は粘性圧力抵抗となり，抵抗レベルは極めて高くなるものと推察される。事実，急を要する避難であったにもかかわらず生簀の曳航速度を十分にあげることができず，このため様々の難題を伴った。避難海域への曳航が短期日で完了できないことによる時間的経済的な問題だけでなく，一般船舶の航行が頻繁に行われる海域での移動であったため，その曳航は常時危険な状態に置かれた。また中には潮流に流され思うように目的地に到達出来ない例もあった。

このような由由しき状況下において，著者らは生簀の曳航を容易にするための相談を受け，実用化の観点を前提として複数直列生簀の抵抗軽減化の検討を試みる機会を得た。無論，流体力学的な立場からみても抵抗レベルの高い生簀を曳航移動することは本質的に無理があるものと推察されるだけでなく，抜本的に赤潮発生海域での養殖漁業のあり方について議論されるべき高次の問題であるという見方もできる。しかし，現実にここ数年来毎年のように赤潮の危険に直面している養殖漁業者にとって，生簀の曳航移動の改良は切実な課題である。

複数直列生簀を曳航する際，先頭生簀の前面に剛体状の Bluff Body（以下これを剛体カバーと称す）を取り付け，剛体カバーの死水を伴う伴流域に生簀を設けることを行えば生簀自体に生ずる抵抗を大幅に減少できるものと考えられる。この時，剛体カバーの抵抗も粘性圧力抵抗が主成分であるため，生簀と同様抵抗レベルが大きいことは明らかで，剛体カバーを適用することにより逆に抵抗増加になることも起り得る。また何らかの抵抗軽減効果が得られたとしても，その量は剛体カバーの形状や大きさだけでなくそれを適用する生簀の台数や抵抗特性などにも依存するものと推察される。従って，剛体カバーの有効性の検討を行うためには，この現象に関連するこれらの諸要因を組み込んだ剛体カバーと複数直列生簀，いいかえれば Bluff Body と網地物体二者の相互干渉の問題として取り扱うことが必要になる。

本論文は以上の観点から，剛体カバーによる抵抗軽減化の有効性について検討を行ったものである。まず剛体

* 漁船工学部

カバーと複数直列生簀の相互干渉時の抵抗特性について水力学的な考察を行い，剛体カバーによる抵抗軽減効果を表わす算定式を導いた。次にこの算定式に用いられるパラメーターの特性やその取り扱い方を明確にするため，模型抵抗試験を行いその考察を試みた。また実物試験に参加する機会を得たのでその結果を取りまとめ，剛体カバーの効果についての検討を行った。詳細は以下のとおりである。

2. 剛体カバーの適用

現地では生簀の避難移動に際して一組について5台から10台の生簀を直列に配置し，これを1隻もしくは3隻の沿岸小型底曳漁船で曳航する方法がとられた。図1はこの状況を示すものである。1978年のホルネリア赤潮発生時には，避難海域までの曳航は40海里に及んだ。生簀の抵抗レベルが高いため曳航は自由にならず，漁業者の話ではたかだか2～3 kt 程度が限界で，それは正に“大海原に漂うが如く”の状態であったようである。

このような生簀の避難移動の改良の検討において，それが本質的に曳航に適したものでない技術的限界があるにもかかわらず，一方では実用性のある改良方法でなければ意味がないという難しい条件が付随した。

検討項目として，まず生簀の網地の要目と生簀の形状などの改良があげられるが，この場合それにより得られる効果には限りがあるものと推察されるだけでなく，養殖上の見地から経験的に定められている要目や形状を主用途でない曳航の立場より変更することには無理があるように判断される。また一種の箱船のように生簀全体を剛体で覆う案も考えられないでもないが，抵抗軽減の効果は十分に得られるとしてもこれに要する資金や施設規模の点からみても到底現実的なものではない。

ここで剛体カバーを用いた抵抗軽減化の定性的な考え

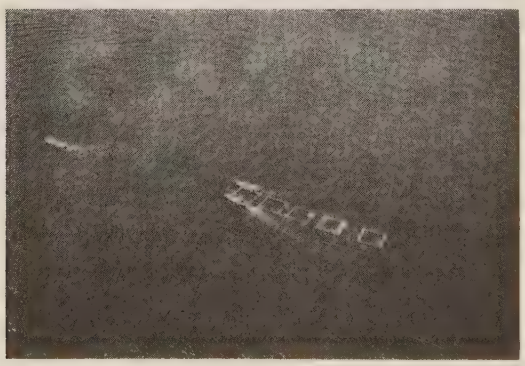


図1 赤潮発生時の生簀の避難移動状況
Towed series Net Preserves at the sudden Attack of red Tide

方について若干述べると，複数直列生簀のそれぞれの生簀にかかる抵抗は，前方の生簀が最も大きく生簀自身の伴流効果により後方生簀程小さくなっていくものと推察される。このため，抵抗の軽減化にはまず前方領域に位置する生簀の抵抗を減ずることが得策であると言える。他方，剛体カバーの伴流は，剝離現象のためその直後の死水域と遷移域，そして運動量回復がみられる後流域の3つに分けられ，その定量的な構造は別にしてもこのような伴流特性を持つ剛体カバーを複数直列生簀に適用すれば，抵抗軽減効果の最も大きい死水域に最大限減ずべき前方生簀が位置することになる。従って，剛体カバーを適用すれば生簀自体にかかる抵抗は相当量減少できるものと考えられる。但し，難点は剛体カバーの抵抗が必然的に付加されることであるが，その有効性はともあれ，剛体カバーでは実用化における制約は比較的少ないと判断される。

3. 抵抗軽減効果の水力学的検討

Bluff Body と網地物体の相互干渉の問題を流体力学的に取り扱うためには，まず任意の三次元物体の抵抗とその後流の推定を行うことが必要になる。しかし，三次元剝離を伴う高レイノルズ数下の粘性流場を解析の対象とするため容易なことではない。また網地物体についても，この種の流場を流体力学的に扱ったものとして伊藤の研究[1) 2)]があげられるが，これは幾何学的に最も単純である平面網を対象としたもので，生簀のような三次元物体でしかも複数個存在する問題にこの方法をそのまま適用することは難しい。

従って，以上の事情から本論文では便宜的に水力学的な取り扱いを行い，まず Bluff Body と網地物体の相互干渉を次のように解析する。

直列に配置した複数生簀の前面に剛体カバーを設けて曳航する際の全抵抗 R_t は次の成分から構成される。

$$R_t = R_0 - \Delta R_0 + R_1 - \Delta R_1 \quad \cdots\cdots (1)$$

ここで R_0, R_1 はそれぞれ剛体カバー及び生簀の単独曳航時の抵抗である。ΔR_1, ΔR_0 は相互干渉量を示すもので，前者は剛体カバーの粘性伴流に起因する生簀の抵抗減少量であり，後者は剛体カバーの背後に生簀が存在するために生ずる剛体カバーの単独曳航時の抵抗に対する変動量である。特に ΔR_0 については，下流側の網地物体の存在によりその上流に位置する剛体カバーまわりの流場が単独曳航時と同一であるはずはなく，とりわけ剛体カバーの後面上の圧力分布は大きく異なるものと考えられ，この項の存在が予想される。

さて，R_0, R_1, ΔR_1 はいずれも粘性圧力抵抗が主成分

であると考えられるので，それぞれを次のように表示する。

$$R_0=\frac{1}{2}\rho C_0 S_0 V^2 \quad \cdots\cdots(2)$$

$$R_1=\frac{1}{2}\rho C_1 S_1 V^2 \quad \cdots\cdots(3)$$

$$\Delta R_1=\frac{1}{2}\rho C_1 S_1 (1-t) V^2 \quad \cdots\cdots(4)$$

ここで ρ は流体の密度，Co，C_1 は剛体カバー及び生簀の抵抗係数，So，S_1 はそれぞれの前方よりの投影面積である。t は剛体カバーの伴流内において生簀に流入する主流方向の速度特性を示すもので，次式にて定義され，実験係数的に導入出来るものと仮定する。

$$t=R_1'/R_1 \quad \cdots\cdots(5)$$

R_1' は剛体カバーと干渉時の生簀自身にかかる抵抗である。因に t＝0 の時は，複数直列生簀はその最後端に至るまで剛体カバーの死水におおわれ生簀には一切抵抗が生じない状態を示し，t＝1 では剛体カバーが存在しない状態と等価である。Bluff Body の死水域では連続の条件に従い部分的に上流側へ巻き込まれる流れも生ずるので，生簀の台数が少ない時には t は負になることも考えられるが，多数の直列生簀を対象とする通常では自明ながら，t は $0<t<1$ の範囲になる。

従って，剛体カバーの効果量を生簀単独曳航時の抵抗をもとにした抵抗減少量の無次元量 η で表示すると，以上の(1)，(2)，(3)，(4)式を用いて次のように表わすことが出来る。

$$\eta=(R_1-R_t)/R_1$$

$$=1-t-\frac{S_0}{S_1}\frac{C_0}{C_1}+\frac{\Delta R_0}{\frac{1}{2}\rho C_1 S_1 V^2} \quad \cdots\cdots(6)$$

ここで $\Delta Ro \ll Ro$，R_1，ΔR_1 の関係があると推察されるので，ΔRo を除くと η は次式のとうり大変簡単化した表示になる。

$$\eta=1-t-\frac{S_0}{S_1}\frac{C_0}{C_1} \quad \cdots\cdots(7)$$

η を規定するパラメーターについて，それぞれは次の諸要因によって構成されるものであると考えられる。

C_0—剛体カバーの幾何形状，レイノルズ数

C_1—生簀の幾何形状と台数及び網の閉塞率と汚れ度，レイノルズ数

t—剛体カバーの幾何形状と生簀の台数及び剛体カバーと生簀の大きさの相対比(So/S_1)，レイノルズ数

4.　抵抗軽減効果の算定式の考察

4.1　模型抵抗試験の概要

剛体カバーの効果量を示す定式(7)式の理解を深め，またこの定式を規定するパラメーターのうち C_1 及び t の特性とその取り扱い方を明らかにすること，さらに ΔRo を除くことの妥当性を明確にするために，模型生簀と模

表 1　生簀の網の主要寸法
Principal Particulars of Net

	ℓ mm	d mm	s
A Net	3.2	0.3	0.18
B Net	3.9	0.4	0.20
Actual Net	50.0	3.2	0.12

ℓ : Length of Lattice
d : Diameter of Wire
s : Blockade Ratio

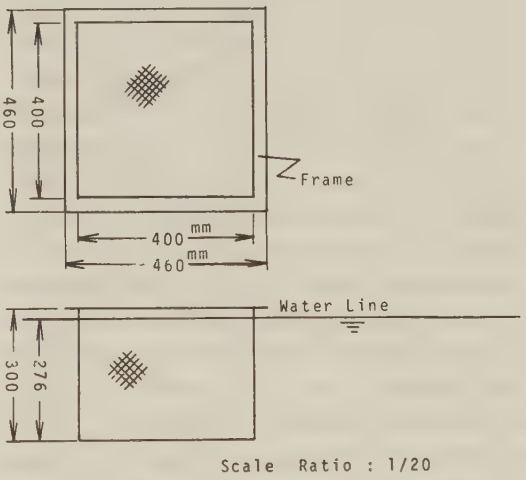


図 2　供試模型生簀
Configuration of Net Preserve Models

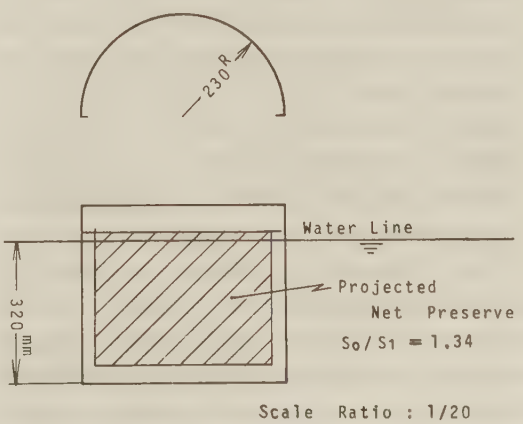
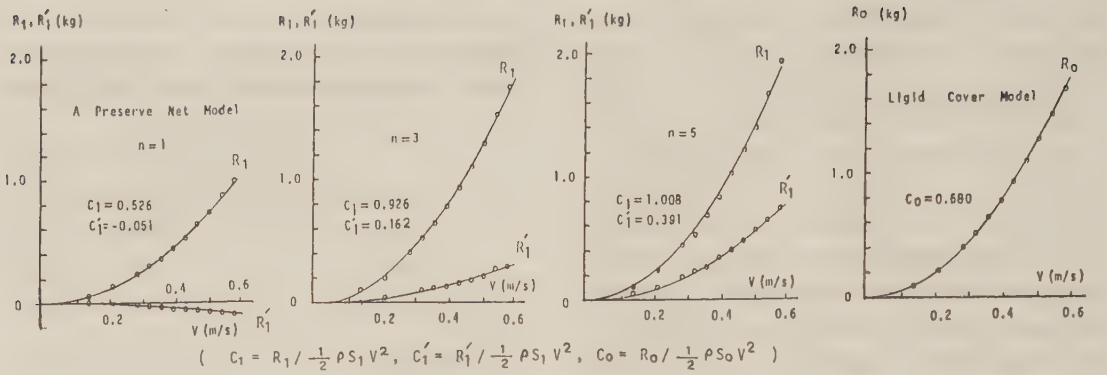


図 3　供試模型剛体カバー
Configuration of Ligid Cover Model



$\left(C_1 = R_1 / \frac{1}{2}\rho S_1 V^2,\ C_1' = R_1' / \frac{1}{2}\rho S_1 V^2,\ C_o = R_o / \frac{1}{2}\rho S_o V^2 \right)$

図 4　模型抵抗試験結果の一例

Example of Resistance measured in Circulating Water Channel

型剛体カバーを用いて抵抗試験を行った。

まず実物生簀に対応する生簀を5個製作してこれを供試模型とした。図2にその概要を示す。但し，網地については実物生簀に用いられている網地と幾何学的に相似ではない。閉塞度は模型生簀の方が大きく，幾何学的相似の条件は満されていない。ここで，生簀の網地の閉塞度は C_1 に直接影響し，(7)式のあり方を規定する重要な要素の一つである。このため表1に示す要目を持つA網を基本とし，これにB網を張り合わせて閉塞度を密にした状態での実験も合わせて行った。本論文では前者の模型生簀をA生簀（A網），後者をB生簀（A網＋B網）として区別する。なおいずれの網もステンレス金網である。

また模型剛体カバーとして半円柱殻のカバーをアルミ板で製作して用いた。図3にその概要を示す。ここで剛体カバーの形状及び模型生簀との相対比は最適化によって定めたものではない。むしろ最適化は抵抗軽減の算定式の妥当性を検証し，その取り扱い方を明確にした後の逆問題的な応用として位置づけるべきものと思われる。ここでの模型実験はその前段階のものであり，このためには剛体カバーの形状はむしろ単純である方が望ましいと考えられる。

実験は回流水槽にて行い，A生簀及びB生簀に対して(1)剛体カバーの抵抗試験，(2)生簀のシリーズ抵抗試験，(3)剛体カバーと生簀の干渉時のシリーズ抵抗試験を実施した。ここで(2)，(3)については模型生簀の台数を1台から5台まで順次変えた。各状態について，0.15 m/s から 0.54 m/s の速度範囲で12点の計測を行い，これより得た計測値をもとに最小自乗法による解析から抵抗係数を算出した。特に制限水路影響及び平均水面勾配影響の修正は行っていない。参考のため計測結果の一部を図4に示す。ここで横軸の n は生簀台数であり，図中の実線は最小自乗法の解析から得た二乗曲線である。抵抗係数はレイノルズ数に依存するものの，この流速範囲では概略一定とみてよく，また実験精度に基づく誤差影響が大きい様に伺われたので，この様な平均化の処理を行った。従って，以下の考察で用いる抵抗係数の値は，模型実験下のレイノルズ数範囲での平均的な意味を持つだけである。

4.2　試験結果とパラメーターの考察

4.2.1　C_1 について

A生簀及びB生簀の抵抗試験より得た C_1 と n の関係を図5に示す。

複数直列生簀の抵抗特性にも生簀間の相互干渉が当然介在する。この相互干渉を以下の様に便宜的に簡単化して取り扱い，複数直列生簀の抵抗について考察する。

一様流中での網地について特異点分布の扱いが可能であるのなら二重吹き出しなどを置くことになり，この結果拡がり流れが誘起される。またミクロ的には網地の後

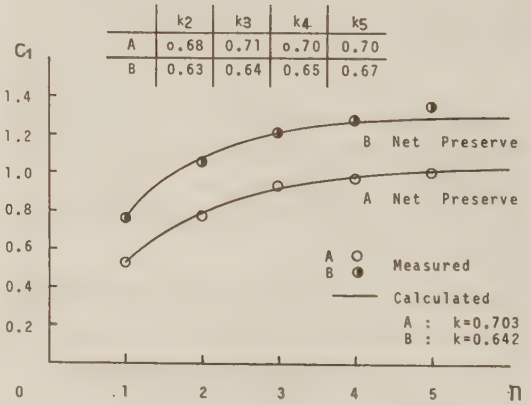


図 5　複数直列模型生簀の抵抗

Resistance of series Net Preserve Models

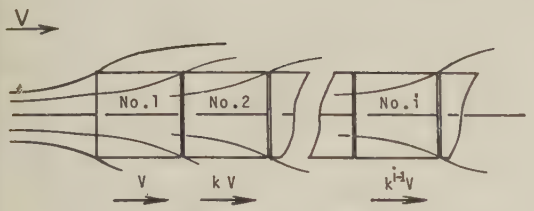


図 6　複数直列生簀まわりの流れのモデル
Flow Model around series Net Preserves

方には剝離を伴う粘性伴流が生じ，これら二つの効果によって網地の伴流の主流方向の流速成分は減速されることになる。本論文において対象としている生簀は立方体形状をしているため，その抵抗は生簀を構成している網地のうち主流方向に垂直に位置している正面及び後面の網地に生ずる抵抗が主要成分になると考えられる。と同時に生簀の伴流特性についても，側面及び底面後方の限られた領域は別にしてその概略は正面と後面の網地によって形成されるものと推察される。ところで，一様流中に垂直に置かれた平面網の伴流が十分に均一であることについては，伊藤の理論解析と実験の裏付けがあり[1]，このような理由により直列に配置されたそれぞれの生簀に流入する流れは一様であると考えてよさそうである。

無論，ミクロ的には網糸からの剝離流の存在により乱動成分の介在も予想され，均一流といっても時間的平均流が一様であるだけで実際にはもっと複雑な流れが形成されているものと思われる。しかし，ここでは便宜的にモデル化を行い，主流方向の流速 V の一様流が 1 台の生簀を通過することにより均一に kV に減速され後方生簀へ流出していくと仮定する。とすれば k は生簀の幾何形状と網地の主要目及び生簀間隔によって規定されるものと考えられる。さらに後方生簀から前方生簀への干渉を無視できるものとし，直列の生簀がすべて同型同主要目である仮定の下では，2 台目の生簀には主流方向の速度 kV の一様流が，また 3 台目の生簀には 2 台目の生簀によって減速された k^2V の大きさを持つ一様流が流入することになる。

図 6 はこのモデルを図示したもので，1 台目，2 台目及び i 台目の生簀に生ずる抵抗をそれぞれ R_{11}，R_{12}，R_{1i} とすれば次の様に表示される。

$$\left.\begin{aligned} R_{11} &= \frac{1}{2}\rho\, C_{10} S_1 V^2 \\ R_{12} &= \frac{1}{2}\rho\, C_{10} S_1 (kV)^2 \\ &\vdots \\ R_{1i} &= \frac{1}{2}\rho\, C_{10} S_1 (k^{i-1}V)^2 \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots (8)$$

ここで C_{10} は生簀単体の抵抗係数である。

従って，n 台の直列生簀の全抵抗 R_1 及び抵抗係数 C_1 は次式にて示される。

$$R_1 = \frac{1}{2}\rho \left(\frac{k^{2n}-1}{k^2-1}\right) C_{10} S_1 V^2 \quad \cdots\cdots (9)$$

$$C_1 = \frac{k^{2n}-1}{k^2-1} C_{10} \quad \cdots\cdots (10)$$

k について現段階ではこの値を解析的に推定することができないので，実験値を使って求める。Fig.5 において，テーブル化して示す k は A 生簀及び B 生簀について抵抗試験より得た C_{10} と C_1 を用い(10)式をもとに算出した 2 台から 5 台曳航時のそれぞれの値である。いずれの生簀もこれらの値は概略一致していることが知られ，以上のモデル化の妥当性がある程度得られているものと推察される。図中の実線は最小自乗法によって得た k をもとに(10)式を用いて算出したものである。実験結果を良く表現していることが分かる。

以上の結果より，複数直列生簀の抵抗特性について C_1 は(10)式にて定式化し得るものと判断され，実用上は単体及び 2 台直列時の抵抗を把握すれば推定できることが知られる。

4.2.2　t について

A 生簀及び B 生簀について抵抗試験結果より得た t と n の関係を図 7 に示す。生簀台数が少ない程剛体カバーの影響度は大きく，また生簀台数の増加と共にその影響度が小さくなっていく傾向は剛体カバーの伴流特性と対応するものである。

t は(5)式に示す定義より知れる様に，剛体カバーの伴流域に置かれた生簀にかかる抵抗と生簀単独曳航時の抵抗の比であり，剛体カバーの伴流効果による生簀の抵抗減少率を示す。このため，その取り扱いには不均一流場，正確には剝離域を含む粘性流場での複数直列生簀に生じる抵抗の推定化が必要になる。

ここで，剛体カバーの伴流が剝離により放出される渦の拡散と散逸により規定されるものであるとすると，その渦運動は生簀の存在により何らかの影響を受けることは自明で，とすると t には生簀台数だけでなく生簀の抵抗特性も関わりを持つことが予想される。ところが図 7 に示す実験結果をみる限り A 生簀と B 生簀についての t の値は概略同一とみてよく，この事実より問題の簡単化のため生簀の抵抗特性が t に与える影響は二次的なものであると仮定する。他方，t を規定する要因の一つに生簀の台数があげられるが，これは生簀が占める剛体カバーの伴流中での空間領域を表わすものであると考えてよい。従ってその取り扱いに際して，t は便宜的に剛体カバーの伴流特性により明示出来るものと考えてよさそうで，さらに生簀の存在を無視し剛体カバー単独曳航時の

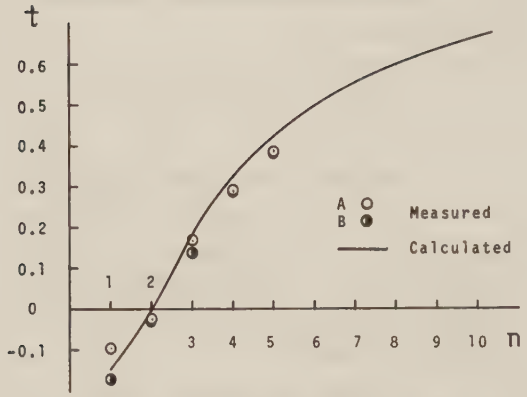


図 7 複数直列生簀の模型剛体カバー伴流に基づく抵抗減少率

Resistance Reduction of series Net Preserve Models due to the Interaction with Ligid Cover

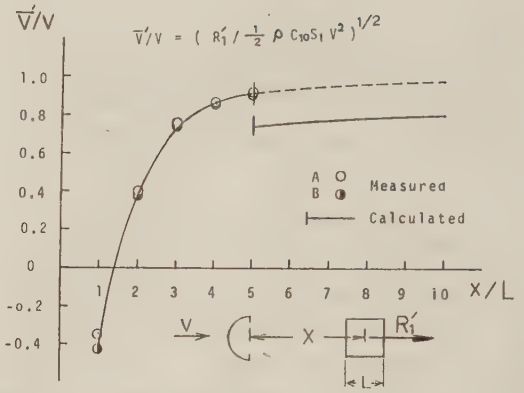


図 8 模型剛体カバー伴流の有効流速

Effective Velocity Distribution in wake of Ligid Cover Model

伴流によって規定されるものと仮定する。

さて剛体カバーの伴流中の生簀にかかる抵抗 R_1' について，生簀単独曳航時の抵抗係数 C_1 の導入を許し R_1' を表わす剛体カバーの伴流の主流方向の平均的な流速 $\bar{V}'$ を設け，この $\bar{V}'$ を用いれば t は次のように表示される。

$$t=R_1'/R_1$$

$$=\frac{1}{2}\rho\, C_1S_1\bar{V}'^2\Big/\frac{1}{2}\rho C_1S_1V^2$$

$$=(\bar{V}'/V)^2 \quad \cdots\cdots(11)$$

ここで $\bar{V}'$ として，剛体カバーを単独で曳航した時の伴流域において，生簀との干渉時に生簀が占める空間領域の主流方向の流速を二乗した値の平均値を用いる。厳密に $\bar{V}'$ を求めようとすれば剛体カバーの伴流域の流速分布を知る必要があるが，逆流を伴う非定常な死水域を含む流場を対象とするため理論的な取り扱いはもとより流速計で計測することも難しい。このため本論文では1台の生簀を剛体カバーの伴流域での位置を主流方向に順次変えてその時の生簀にかかる抵抗を計測し，一様流中での単体生簀の抵抗値をもとに次に示す(12)式により各位置での平均的な流速を求めた。

$$\frac{\bar{V}'}{V}=(R_1'/\frac{1}{2}\rho\, C_{10}S_1V^2)^{\frac{1}{2}} \quad \cdots\cdots(12)$$

図8はこの結果を示すもので，横軸 X/L について X は剛体カバーからの後方距離，L は模型生簀の一辺の長さである。A生簀とB生簀についてその値はよく一致しており剛体カバーの伴流特性の概略を示しているものと考えられる。無論，この値は流体力を介して得た流速であるため，流速計で求められる公称流速とは大きさ及びその物理的特性について若干異なる。さてこの値をもとに生簀が占める空間領域に対して二乗値の平均値を求めた結果が，図7の図中に示す $1\leqq n\leqq 5$ の範囲での実線である。この結果，t の定義より得た実験値と概略一致することが知られ，以上に示した t の扱い方がある程度適っているものと判断される。

また So/S_1 は t に相関を持つもので，剛体カバーの伴流特性から t を算定する時の解析領域を定めるものと理解してよさそうである。

以上の結果より，t は剛体カバーの伴流特性をもとに推定できることが知られる。

4.2.3 ΔR_0 について

剛体カバーをA生簀に干渉させた時の剛体カバーに生じる抵抗の無次元化量 C_0' を，C_0 との比で表わして図

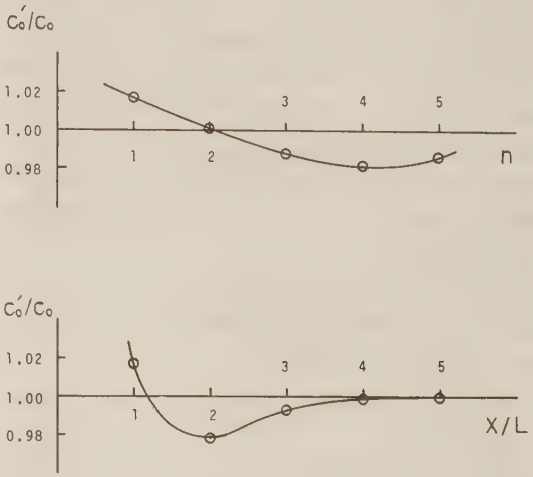


図 9 模型剛体カバーの複数直列生簀との相互干渉による抵抗変動

Measured Resistance Variation of Ligid Cover due to the Interaction with series Net Preserves

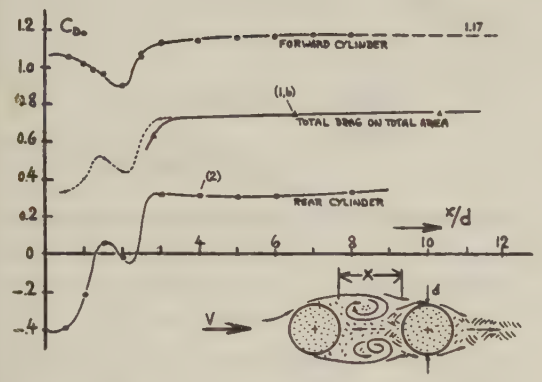


図 10(a)　直列円柱の相互干渉(3)より転写)
Interaction between two circular Cylinders (reproduced from 3))

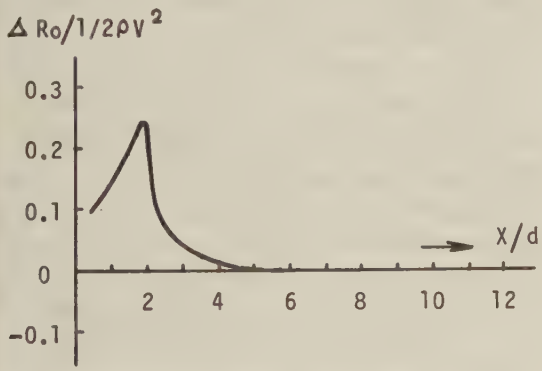


図 10(b)　相互干渉による前方生簀の抵抗変動(図10(a)より計算)
Resistance Variation of forward circular Cylinder due to the Interaction

9に示す。また剛体カバーの伴流域の各位置に単体生簀(A生簀)を置いた時の剛体カバーの抵抗変動量も合わせて示す。Höerner の抵抗便覧[3] を参考にすれば，Bluff Body 二体の相互干渉，例えば直列平板や直列円柱では前方物体の抵抗は単独時の値に比べその相互距離の如何にかかわらず小さくなる傾向にあるように推察される。これは後方物体の前面での岐点まわりの圧力増加の影響が，前方物体後面の圧力分布に及ぶことによると考えられる。図10は直列円柱の例である。Bluff Body と網地物体との干渉では必ずしもこの傾向を示さないようで，特に剛体カバーと生簀1台との干渉時には前方に位置する剛体カバーの抵抗が増加することは興味深い。

この現象の物理的解釈はともかく，ΔR_0 が剛体カバーの効果量 η に及ぼす影響については，図中より最も抵抗変動量の大きい所は生簀が1台の時で，この時の η に与える影響量はたかだか 1～2％程度である。この結果より，η の算定式(6)式では ΔR_0 の項は無視できることが知られる。

4.3　算定式の有効性

半円柱殻の模型剛体カバーのA生簀とB生簀に対する抵抗軽減効果量について，(7)式をもとに算定した結果を実験値と共に図11に示す。この場合，C_1 と t は既述の考え方で算出した。算定式のパラメーターは実験値を用いているので当然合うと言えばそれまでであるが，複雑な相互干渉による剛体カバーの効果量をよく表わしており，本論文で検討した算定方法が有効であるものと判断される。

ここで，模型実験下では剛体カバーを用いることにより逆に抵抗増加になる結果を得た。しかしこの事実から剛体カバーの有効性について結論することは早計であると言うべきである。この検討においては，実物生簀に適用した状態についての考察が必要である。

算定式(7)式が仮に高レイノルズ数下の実用生簀にも適用できるとしても，そこで用いられるパラメーター Co, t 及び C_1 はレイノルズ数の影響を大きく受けるため模型実験の値をそのまま使うことはできない。剛体カバーに関係する Co 及び t について，前者は剝離線がレイノルズ数によらず剛体カバー後端に固定されているとみてよいものの，実物剛体カバーの適用状態がレイノルズ数について遷移域を越えた状態であるためその値は模型よりも小さくなる可能性がある。また後者についても模型と実物間ではレイノルズ数の相違だけでなく，伴流特性に強く影響すると考えられるレイノルズ応力の違いも介在するため，前者同様に模型の値を用いることは無理である。生簀に関係する C_1 についても Co と同様のことが言えるものと思われる。但し，現段階ではこれらの検討

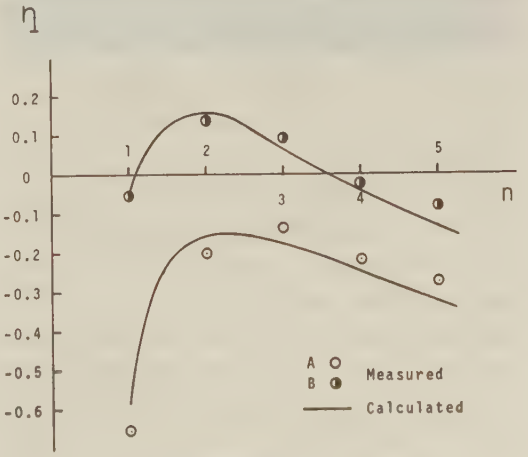


図 11　模型剛体カバーの効果
Effect of Ligid Cover Model

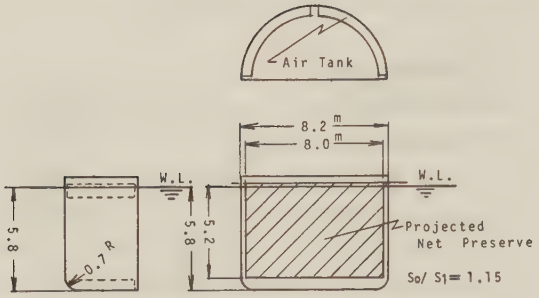


図 12 実物剛体カバー
Configuration of demonstrated actual Ligid Cover

図 13 実物剛体カバーと生簀
Actual Ligid Cover and series Net Preserves

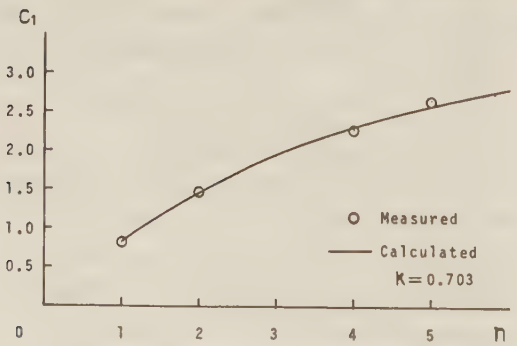


図 15 複数直列実物生簀の抵抗
Resistance of actual series Net Preserves

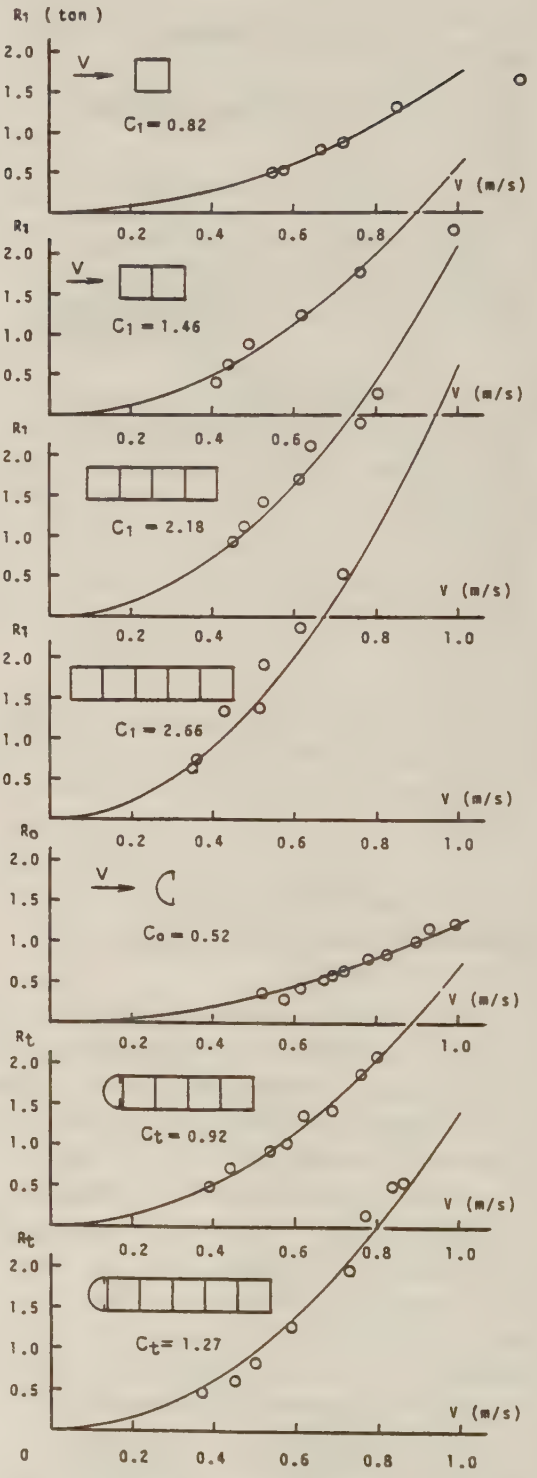


図 14 実物抵抗試験結果
Results of Reistance measured in actual Experiment

方法が定かでないので今後の課題として指摘するにとどめる。

5. 剛体カバーの効果

5.1 実物抵抗試験による検証

剛体カバーの実用化を行う時には，剛体カバーの最適化の検討も必要である。しかし，赤潮に直面する現地からの要望が急を要したものであったためその時間が十分にとれず，また実物レイノルズ数下の定性的な考察を行った限りでは，その効果量は別にしても抵抗増加にはならないであろうと推察された。この結果，模型剛体カバーに概略対応する実物剛体カバーが試作され，この効果を検証する機会を得た。

実物剛体カバーの概要を図12に示す。形状は半円柱殻で，底部に若干の曲りと底面を設けている。材質はFRPである。生簀は香川県下でハマチ養殖用に用いられているものを5台用いた。図13に試験時の様子を示す。

実験項目は，(1)剛体カバー及び生簀の抵抗試験，(2)剛体カバーと生簀の干渉時の抵抗試験で，タグボートにて曳航し，船尾からの曳索を 100 m にとりこれにかかる張力を計測した。但し，(2)については時間的制約と天候不順のため生簀台数を4台と5台に限定した。各項目について，曳航速度を順次変え，得られた計測値をもとに最小自乗法により抵抗係数を算出した。特にプロペラ後流影響の修正は行っていない。

図14にこれらの計測結果を，図15に実物生簀の C_1 と n の関係を，図16に用いた実物剛体カバーによる抵抗軽減の効果量を示す。

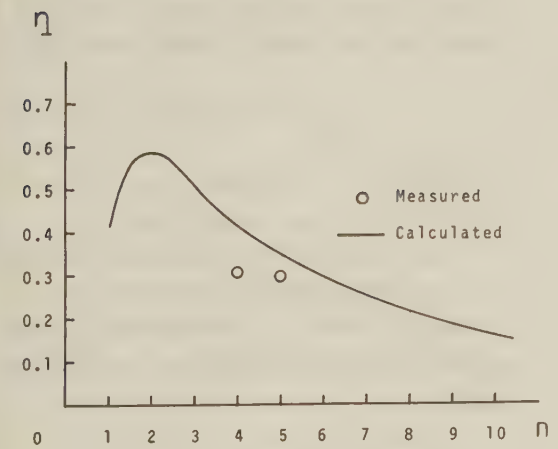


図 16　実物剛体カバーの効果
Effect of demonstrated actual Ligid Cover

5.2 抵抗軽減効果の一試算例

半円柱殻の実物剛体カバーを1台から10台までの生簀に適用した時に，抵抗軽減効果量がどのようになるのかについて，η の算定式(7)式をもとに実物抵抗試験結果を用いて試算する。まず Co は実物剛体カバーの抵抗値を用いる。また C_1 については，既述の方法により推定する。図15の実線は(10)式を用い最小自乗法により実験値から k を算出し，これをもとに得たものである。実物生簀の抵抗試験結果をよく表わしており，高レイノルズ数下の実物生簀に対しても模型生簀と同様にこの考え方が適用できることが知られる。他方，t については既述の考え方に従い模型剛体カバーの伴流特性から推定する。図8に示す模型剛体カバーの伴流についての実験値はX/Lが5より後方域の値が得られていないので，便宜的にSchlichting の式[4] をもとに定める。図中の X/L>5 における実線はこれより得た値であるが，妥当と言える様なものではない。この式は二次元問題を解析の対象としていること及び Bluff Body より十分後方の流場に用いられるものであり，その適用限界を無視したことが合わない原因であると思われる。無論，実験値が流体力より換算された流速であることも一つの要因である。しかし他に適当な方法がないので，論理的には全く無意味であるが，修正係数を用い X/L=5 で実験値と接続させる。これより得たものが図中の破線である。この値を用いて(11)式より求めた t の値が，Fig. 7 の図中に示す X/L>5 の領域での実線である。

以上の Co と C_1 及び t を用いて(7)式より算出したηと n の関係を示したのが，図16の図中の実線である。生簀台数4台と5台での実験値と一致しない理由の1つとして，t にレイノルズ数が大きく異なる模型剛体カバーの値を用いていることがあげられる。定量的なことは別にしても定性的な傾向はよく表現されているものと推察される。生簀台数が増加するにつれ剛体カバーの効果が小さくなっていくことが明らかである。逆に生簀の数が限定されている時に有効であることが知られる。

以上の結果はあくまで半円柱殻の剛体カバーの効果量を示すもので，必ずしも剛体カバーの効果の限界を表わしているものではない。剛体カバーの有効性についての吟味を行うには，剛体カバーの形状と大きさに関する最適化問題を扱うことが前提となる。Höerner の抵抗便覧[3] によれば半円柱殻よりも四分球殻の方が抵抗が小さく，(7)式で知られる様に Co の見地からすればむしろこの形状に近いものを選定すべきであるように判断される。但し，Co と共に，t 及び S_0/S_1 の検討も合わせて

行わなければならないのは自明である。またこの様な形状では，揚力が働くためこの力に基づく剛体カバーの上下方向の変位の防止対策に関する考慮も不可欠になる。理論的もしくは実験的にせよ，半円柱殻から四分球殻の間の形状物体に対してシリーズ的にその抵抗特性と伴流特性を分析し，(7)式をもとに最適化を行えば，本論文で扱った半円柱殻剛体カバーより大きな効果を得るものと推察される。無論，その効果量は適用する生簀の台数及び抵抗特性によっても変わることについては言うまでもない。

6. 結　　言

複数直列生簀の曳航時における抵抗軽減のための一つの方法として，剛体カバーと複数直列生簀の干渉効果を利用してこの場合の有効性についての検討を行った。内容の要点は次のとおりである。

(1) 剛体カバーの抵抗軽減効果について水力学的な考察を行った結果，その効果量ηは剛体カバーの抵抗係数 Co，複数直列生簀の抵抗係数 C_1，剛体カバーの伴流による生簀の抵抗減少率 t，並びに剛体カバーと生簀の大きさの相対比 So/S_1 の4個のパラメーターによって規定されること。及び剛体カバーの有効性を検討する場合，それぞれのパラメーターについて分析的に考察を行い総合化を図る必要のあることが判明した。

(2) ここで，Co 及び t は剛体カバーから，また C_1 は複数直列生簀から定められるもので，可分原理の扱いが可能である。

(3) C_1 について，単体及び二台の抵抗をもとに推定する方法の検討を行った結果，実用上有効であることを検証した。

(4) また t については，Bluff Body の伴流特性から定め得ることが分った。

(5) 半円柱殻の剛体カバーを実物生簀に適用した結果，4台及び5台の生簀に対して生簀単独曳航時の1/3程度の抵抗軽減を得た。この効果量は生簀の抵抗特性に依存するため任意性を持つものの，剛体カバーを用いた抵抗軽減方法が今後の検討に値するものであることを示唆するものである。

(6) この場合，剛体カバーの効果は生簀台数が2台前後に限定されている時に大きく，生簀台数が増加すると共に減少する特徴を持つ。

(7) その実用化のためには，本論文で検討した抵抗軽減量の算定方法を逆問題として用い，剛体カバーの形状と大きさについての最適化が必要である。またこの際，レイノルズ数影響についての分析も必要であり，これら二点は今後の課題である。

本論文では，剛体カバーの利用目的を赤潮発生時の複数直列生簀の避難移動に適用することに置いたが，小嶋[5]や田中[6]が行った実験結果を見る限りでは，活餌料用いわしの生簀を用いた移動などに応用できるように推察される。剛体カバーの抵抗軽減効果は生簀台数が限定されている時に大きいこと，さらに剛体カバーの死水を利用することにより流れのいわしに与える刺激が小さくなることなどのため，剛体カバーの適用により生簀の移動時の抵抗軽減化と共にいわしのへい死率の低減が可能になるものと想像される。また剛体カバー自体の問題ではないが，本論文で扱った複数直列生簀の抵抗特性の推定方法は，外海域潮流下に設けられた複数の養殖用生簀の係留張力定算などに応用していけるものと判断される。無論その実用化のためには網地物体まわりの流場について流体力学的手法に基づく詳細な検討が必要である。

なお，本論文の取りまとめに際し，有益な御助言をいただいた当研究所中村充水産土木工学部長に深謝いたします。また実物抵抗試験を企画実施されその参加の機会を与えて頂いた香川県水産課大塚純一郎副主幹，高橋昭係長並びに水産試験場大林萬鋪主任研究員に謝意を表すると共に，試験の実施に努力された㈱讃岐造船鉄工所松田考師社長，真鍋国男氏始め関係各位に厚くお礼申し上げます。

参考文献

1) 伊藤光：網の抵抗による流路の拡大，日本航空宇宙学会誌，第22巻，第247号，pp.373，1974.8

2) 伊藤光：斜め網による流れの偏向とその応用，日本航空宇宙学会誌，第23巻，第255号，pp.246，1975.5

3) Höerner, S.F., Fluid-Dynamic Drag, Published by the Author, 1958

4) Schlichting, H., Boundary Layer Theory, McGraw-Hill, 4th ed. pp.600, 1962

5) 小嶋清一：伊勢湾カタクチイワシ活餌料化開発試験，三重県伊勢湾水産試験場事業報告書，1978

6) 田中夏積：餌料用いわしいけす改良試験，第12回漁具漁法試験研究推進全国会議資料—水産庁研究部—1980

Resistance Reduction of the Net Preserves by Ligid Cover

By

Toshihiko Kawashima, Tutomu Kobayashi and Minoru Arigi

Summary

The effect on the method to equipe ligid cover at the front of towed series net preserves, is investigated to reduce resistance both theoritically and experimentally.

The formation on the effect of this method is proposed by treating hydraulically the interaction between bluff body and net bodies, and to examine the parameters used in this hydraulic formation, resistance experiment is carried out with net preserve models and ligid cover of which shape is half circular cylinder shell in the circulating water channel. It is found that this formation is useful for the estimation of quantity of resistance reduction.

On the other hand, resistance of actual raising net preserves is measured and the actual ligid cover is demonstrated to equipe them. Using the results of calculation partly with measured data at actual high Reynolds number, the efficiency of this method by ligid cover is discussed.

水工研報告 4
1983 pp. 99～106

漁船機関における乳化燃料の使用について—II

——乳化燃料が機関部品に及ぼす影響——

小田健一*・山田敏夫*

目　次

1. まえがき……99
2. 試験方法……99
2.1 供試機関……99
2.2 供試燃料……100
2.3 試験方法……100
3. 結果と考察……100
3.1 運転性能の変化……100
3.2 摺動部の摩耗……101
3.3 燃料系統の摩耗……102
3.4 各部の汚れ……103
3.5 潤滑油に対する影響……103
4. まとめ……104
5. あとがき……105
参考文献……105
Summary……106

1. まえがき

燃油費の低減を目的として，以西底曳網漁船の一部などで A/C ブレンド油の使用が始まっている[1]。しかし，ブレンド油の使用は主機関のみの例が多く，小出力の補機関は従来通りA重油を使用しているものが多い。

低質燃料の燃焼改善の一つに，燃料に水を加えて乳化させ，添加された水の持つ物理的，化学的な作用の助けを借りる方法がある。我々は，既存漁船の大部分の補機関が採用していると思われる予燃焼室タイプの機関を用いて，実験室において水分添加率を 0～50 wt % まで変化させた乳化軽油と乳化B重油を燃料としたときの運転性能を調査した[2]。その結果，一定の条件下では燃費率，排気温度，排煙濃度，排気中の窒素酸化物等に改善がみられることが判明した。特に小型機関ではB重油を使用した場合に燃焼の悪化がみられるが，乳化することでこれを解消し軽油なみの燃費率が得られた。

商船の分野では，大型2サイクル主機関で，粘度 2500 秒 Red. 1 @ 100 °F の C 重油を乳化させ[3]，また，4サイクル補機関で A/C ブレンド油を乳化させて[4] 実船実験が開始されている。

ディーゼル機関の場合，プランジャや燃料弁，ライナとピストンや軸受など重要な摺動部分を多く有するため，これらの潤滑箇所に対する水分の悪影響が心配される。これらの乳化燃料が機関部品に与える影響は，短時間の運転では判定できないので，実験室で 100 時間単位の運転を行いその影響を調査した。結果を以下に報告する。

2. 試験方法

2.1 供試機関

供試機関には，三菱重工業ダイヤディーゼル 1 DVA-8a 型4サイクル立型単気筒予燃焼室式を採用した。機

表 1　供試機関の主要目
Test engine

形　　式	三菱重工業ダイヤディーゼル 1 DVA-8 a
シリンダ数	1
シリンダ径	110 mm
行　　程	150 mm
回 転 数	900 r.p.m.
出　　力	8PS{5.89 kW}
ピストン速度	4.5 m/s
平均有効圧力	5.61 kgf/cm²{549kPa}
燃焼室形式	予燃焼室

* 漁船工学部

関の主要目を表1に示す。

2.2 供試燃料

供試燃料には市販のB重油を使用した。その性状を表2に示す。なお，この燃料は運転性能の試験[2]に使用したB重油とは性状が異るので，運転性能の一部に前報[2]と異る部分が生じた。

2.3 試験方法

前報によれば，供試機関に乳化 B 重油を使用したとき，水分添加率 30％ まで燃費率の低下がみられたので，供試燃料の水分添加率を 0 wt％，10 wt％，30 wt％ の3段階にとり，30 wt％ の場合は水分による腐食摩耗の防止を目的として，添加した水分をアルカリ性に保持したものも作製し，計4種類の燃料を用意した。

機関の運転は，特に停止させる必要の生じた場合を除いて 100 時間連続で行ない，冷却水出口温度を 65 ℃，潤滑油温度を 60 ℃ 一定に制御した。また，潤滑油には市販品を用いた。

3. 結果と考察

結果を以下に報告する。なお，折線グラフは○△□◇の順に，棒グラフは左より順にそれぞれ燃料中の水分添加率が 0，10，30，アルカリ性 30 wt％ の場合を表わす。

3.1 運転性能の変化

100 時間の運転時間を4等分して，25時間毎に燃料消費率，排気温度，排煙濃度の平均値を求めた結果を図1～図3に示す。なお，燃費率は添加した水分を差し引き燃料のみに対する値として求めた。水分添加率 0 wt％ の B 重油のみによる運転では，それぞれの性能に経時変化は殆どみられないが，水分を添加した乳化燃料では，いずれも運転時間の経過とともに燃焼の悪化がみられる。すなわち，運転開始後数時間は水分添加による燃焼の改善がみられるが，徐々に燃焼状態が悪化し，一定時間経過後は逆に水分を添加した方の燃費率，排気温度が無添加の場合を上まわる様になる。

その原因として，予燃焼室の汚れが考えられる。運転終了後の機関開放時の観察で，予熱焼室壁に大量の炭化物の堆積がみられた。これが予燃焼室の容積を徐々に狭

表 2 供試燃料性状
Specification of fuel oil for tests

比重	15/4℃	0.9248
反応		中性
引火点	℃	78
粘度	@50℃ cSt	24.1
流動点	℃	7.5
硫黄分	wt%	2.17
残留炭素分	wt%	6.06
アスファルテン	wt%	3.81
水分	vol%	0.02
セタン指数		44.0
総発熱量	kcal/kg	1050
真発熱量	kcal/kg	9900

lcSt＝1mm²/s　lcal＝4.19 J

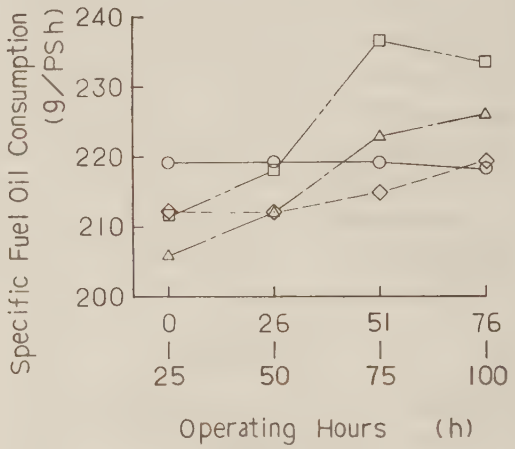


図 1 燃料消費率の変化
Specific fuel oil consumption

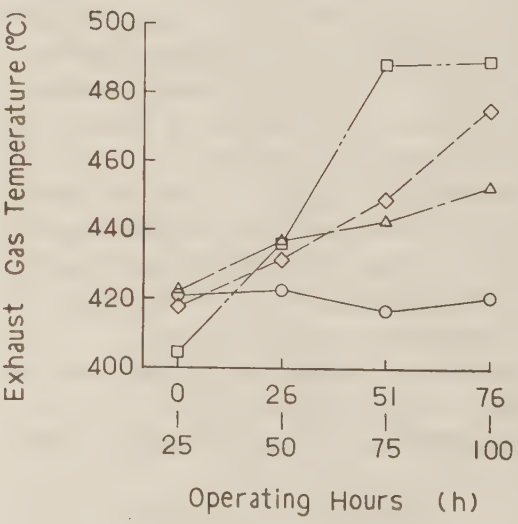


図 2 排気温度の変化
Exhaust gas temperature

めていったことや，噴口付近やノズルに付着した炭化物の妨害により噴射された燃料に適量の酸素を供給して予燃焼室内の燃焼を継続させ，噴流を維持する[5]予燃焼室本来の役割が果せなくなったものと思われる。アルカリ性に保持した水分添加率 30 wt % の乳化燃料による運転時に，90 時間目に急激に燃焼が悪化し，排気温度が 500 ℃ を越え運転の継続が困難と考えられたため，一旦停止して予燃焼室の汚れを除去した後運転を再開したところ，ほぼ初期の値に近い性能まで戻すことができた。なお，図 1 ～ 3 の値にはその 90 時間以後のデータは含めていない。

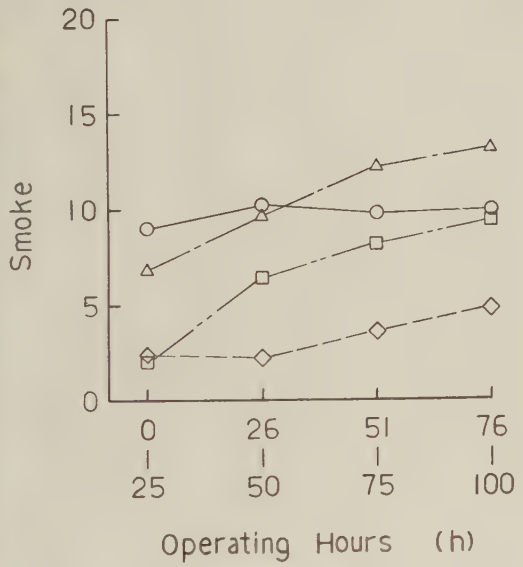


図 3　排煙濃度の変化
Smoke in exhaust

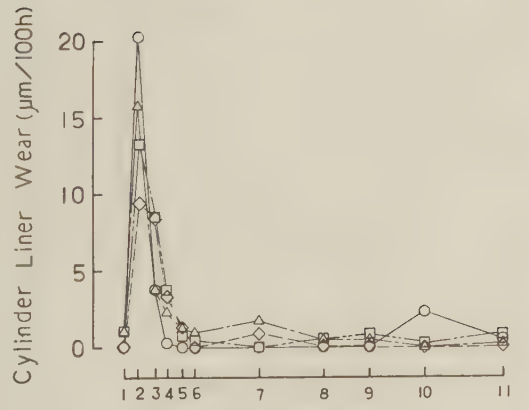


図 4　シリンダライナの摩耗
Cylinder liner wear

水分添加率 30 wt % の場合は，後述の様にニードル弁の腐食摩耗が激しかったことが燃焼状態をさらに悪化させたものと思われる。

3.2　摺動部分の摩耗

シリンダライナの寸法摩耗を図 4 に示す。横軸の 1 はピストントップランド上死点位置，2 ～ 6 は第 1 ～第 5 (オイル)リング上死点，9 は第 1 リング，10は第 5 リングの下死点，7，8，11は任意に定めた点である。水分

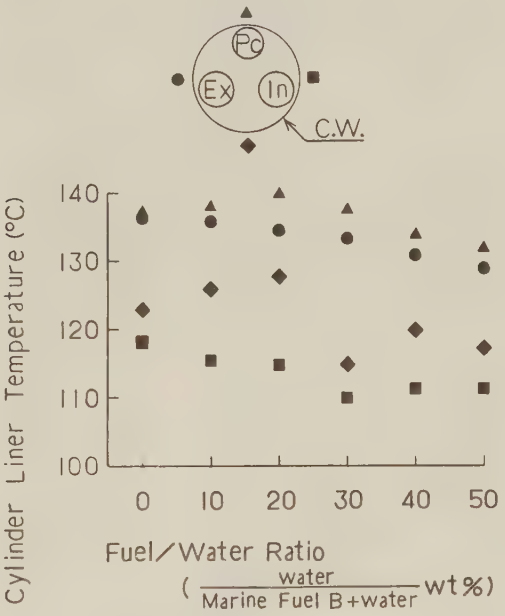


図 5　シリンダライナの壁温
Cylinder liner temperature

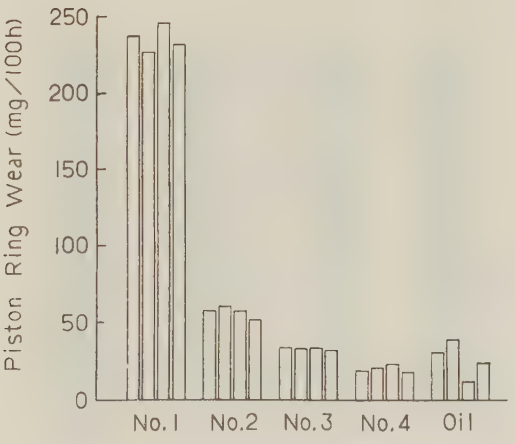


図 6　ピストンリングの摩耗
Piston ring wear

を添加した場合，第1リング上死点位置では摩耗が減少しているが，第2，第3リング上死点では逆に増加している。水分添加率とシリンダライナの第1リング上死点位置における円周上4方向の壁温をみると，図5のように水分添加率30％の場合は予燃焼室側を除いて低下しており，これが燃料中の硫黄分から生成する硫酸量を増加させ腐食摩耗を促進したものと考えられる。

ピストンリングの摩耗を図6に示す。水分添加率による摩耗の差異はほとんどみられなかった。

クランクピン上メタルの摩耗を図7に示す。水分添加率30 wt％のとき異常に高い値が出ている。後述の潤滑油性状分析結果から，大粒径の不容分が多くアブレシブ摩耗を促進したことと，試験の都合で機関の停止起動回数が多かったことが原因の一つと考えられるが，何か他の要因も含まれているものと思われる。

3.3　燃料系統の摩耗

プランジャの運転後の状態を図8に左から水分添加率0，10，30，アルカリ性30 wt％の順に示す。またその摩耗量を図9に示す。供試燃料中の水分粒子の径は10 μm程度のものがあり[2]，これはプランジャとバレルすき間より大きいため，水分添加率の増加とともに腐食摩

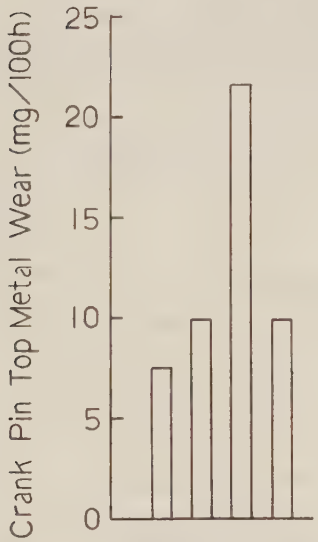


図7　クランピン上メタルの摩耗
Crank pin top metal wear

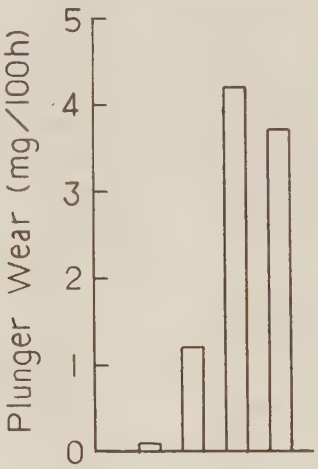


図9　プランジャの摩耗
Plunger wear

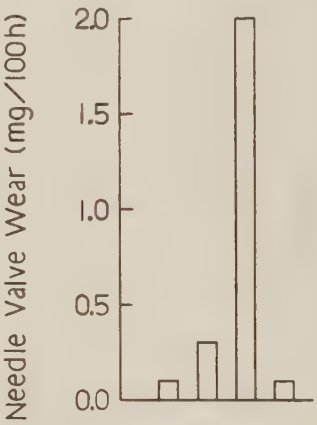


図10　ニードル弁の摩耗
Needle valve wear

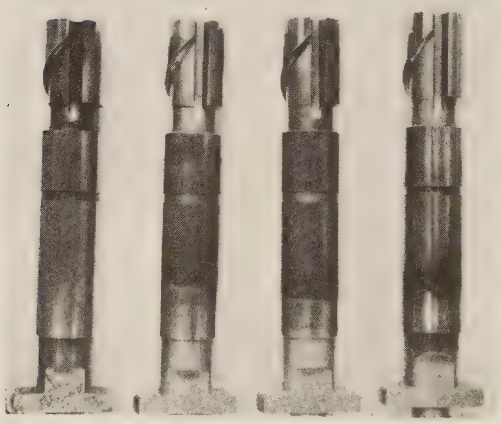


図8　運転後のプランジャ
Plunger after 100 hour operation

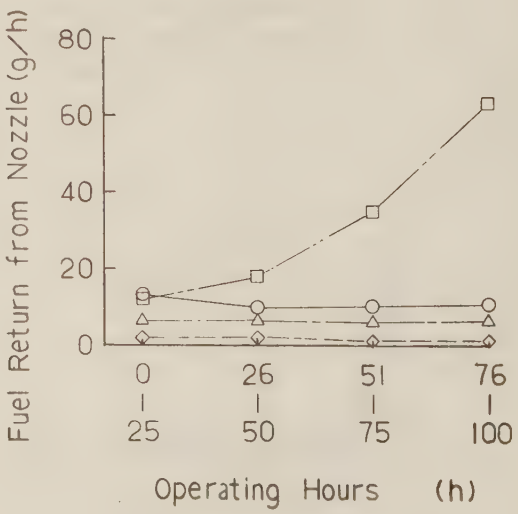


図11　燃料弁からの戻り油
Fuel return from nozzle

耗が増大したものと思われる。

ニードル弁の摩耗を図10に示す。同様に，水分添加率の増加とともに摩耗が増大する。摩耗の進行状況をノズルからの戻り油の量で示すと図11となり，水分添加率30 wt％ の場合は急激に腐食摩耗が進行したことがわかる。一方，水分をアルカリ性に保持した場合は，プランジャの摩耗には大差はないが，プランジャで圧縮を受けることで燃料中の水分粒子が微細化された後にニードル弁へ送られた段階では顕著な防錆効果が認められる。

3.4　各部の汚れ

ノズル先端部分の汚れを図12に示す。添加した水分が狭い予燃焼室内で蒸発する際に気化熱を奪い，予燃焼室を冷却することによる未燃焼物質の予燃焼室壁，ノズル，噴口付近への付着が生じ，これが噴射された燃料の空気との混合を妨げるとともに，予燃焼室の有効容積の減少による酸素量の不足から生じる燃焼不良と悪循環を繰返すことにより予燃焼室の汚れが進行したものと思われる。乳化燃料の炭化性をみるためにバネルコーキング試験を行なったが，燃焼を伴わないこの方法では明瞭な結果は得られなかった。

一方，ピストンヘッドの汚れを図13に示す。アルカリ性の水分添加率 30 wt％ のときの汚れが少なくなっているが，他は差異が少ない。予燃焼室の場合と異なり，乳化燃料が主燃焼室の汚れを促進することはないと考えられる。

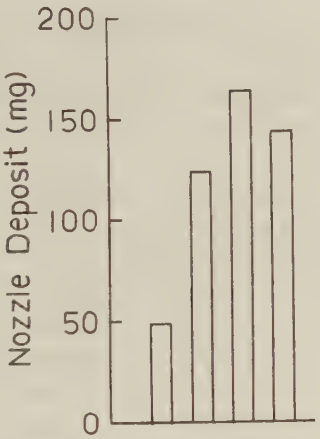


図 12　ノズル先端部の汚れ
Nozzle deposit

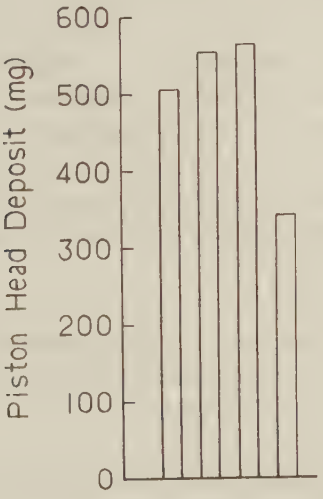


図 13　ピストンヘッドの汚れ
Piston head deposit

3.5　潤滑油に対する影響

運転前後の潤滑油の一般性状分析結果を表3に示す。水分添加率が増加するに従って，全酸価やレジン分にみられる様に基油の劣化が促進される傾向にある。

潤滑油中の不溶分の総量を表わすと考えられる 0.1

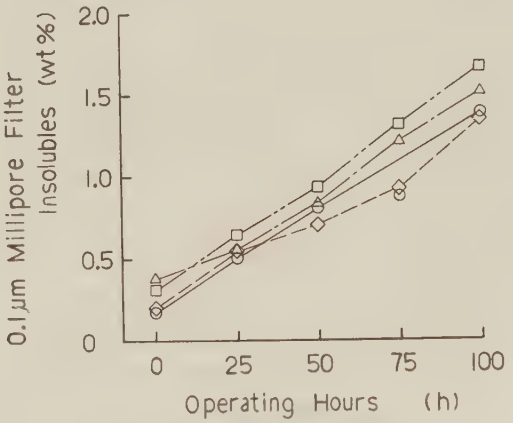


図 14　ミリポア不溶分の変化
Millipore filter insolubles in lubricating oil

表 4　不溶分増加率
Rate of insolubles increase
単位 wt%

水分添加率 ％ ＼ 分析方法	沪過法 ミリポアフィルタ 0.1 μm	遠心分離法 ASTM D 893 ヘプタン A法	ヘプタン B法	トルエン B法
0	0.0382	0.0125	0.0413	0.0383
10	0.0324	0.0141	0.0567	0.0489
30	0.0387	0.0267	0.0640	0.0520
30＋アルカリ	0.0343	0.0244	0.0565	0.0439

表 3 潤 滑 油 性 状
Specification of lubricating oil

使用燃料の水分添加率 %	(未使用油)	0	10	30	アルカリ性30
比 重 15/4℃	0.9013	0.9011	0.9066	0.9058	0.9070
粘 度 cSt @40℃	106.35	104.41	108.55	105.69	106.24
@100℃	11.05	11.79	12.64	11.98	11.53
引 火 点 ℃	268	250	246	244	266
硫 酸 灰 分 wt%	0.87	0.99	1.00	0.93	1.02
水 分 vol%	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr
全 酸 価 mgKOH/g	0.80	1.89	1.97	2.18	2.06
全 塩 基 価 wgKOH/g	8.55	5.07	6.01	4.83	4.65
ミリポア不溶分 wt%	—	1.38	1.51	1.66	1.34
ヘプタンA法不溶分 wt%	—	0.39	0.50	0.94	0.81
ヘプタンB法不溶分 wt%	—	1.29	2.01	2.25	1.89
トルエンB法不溶分 wt%	—	1.20	1.74	1.83	1.47
レ ジ ン 分 wt%	—	0.10	0.28	0.42	0.42
分 散 指 数	—	70	75	58	57

1cSt = 1 mm²/s

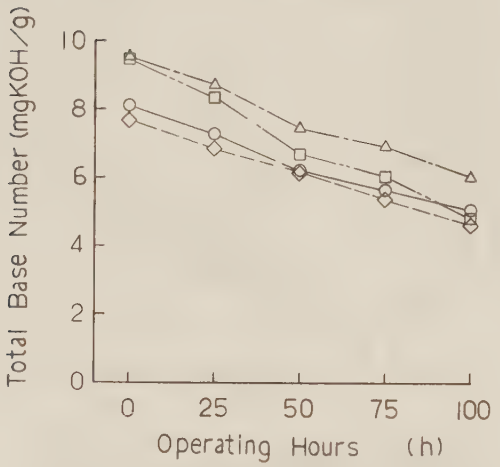


図 15 全塩基価の変化
Total base number in lubricating oil

μm ミリホアフィルタ沪過法による結果は，図14の様に水分添加率の影響は殆どみられない。一方，表4に示す燃料単位消費量（添加した水分を差し引いた B 重油のみに対する値）当りの不溶分増加率では，大粒径の不溶分のみを分離するヘプタン A 法の値が水分添加率とともに増加している。これは，予燃焼室の汚れに起因する燃焼不良のためススを主体とする不溶分生成量が増加し，粒径の小さいものは添加した水分との間で水性ガス反応でガス化し，残された大粒径の不溶分が潤滑油中に混入したことによると推定される。

表 5 アルカリ消費率
Rate of alkarinity consumption

水分添加率 %	アルカリ消費率 mgKOH/g
0	0.0896
10	0.1058
30	0.1356
アルカリ性 30	0.0918

次に，過塩素酸法による全塩基価の変化を図15に示す。燃料単位消費量当りのアルカリ消費率は，表5の様に水分添加率のとともに増加する。これは，図5の様に添加した水分の蒸発潜熱によりシリンダ壁が冷却されるので，燃料中の硫黄分から生じる硫酸の凝縮量が増え，これを中和するための添加剤の消耗が増加したものと思われる。なお，添加した水分をアルカリ性に保持した場合には，その一部が硫酸の中和に役立つため，潤滑油のアルカリ消費率の増加が少なかったものと思われる。

4. ま と め

乳化燃料が機関部品に及ぼす影響を調査するため，予燃焼室タイプの小型漁船機関に B 重油と水分を添加した乳化 B 重油を使用して運転を行なったところ，次のことが判明した。

B 重油に対し，乳化 B 重油の場合，運転開始後数時間は添加した水分により燃焼の改善が図られるが，運転時間の経過とともに予燃焼室内に炭化物が堆積して予燃

焼室の機能が低下するため徐々に燃焼が悪化し，燃費率や排温の上昇をもたらし結果として水分の添加は逆効果となる。

添加された水分により，燃料系統のプランジャやニードル弁に腐食摩耗を生じる。水分粒径の微細化または防錆剤の使用による対策をとる必要がある。

燃焼が悪化することにより，発生した，大粒径の不溶分の潤滑油への混入量が増加するとともに，蒸発潜熱による燃焼室壁温の低下から硫酸生成量が増加し，全塩基価の消耗が促進される。

以上により，予燃焼室を持つディーゼル機関に対しては，乳化燃料の使用を避けるべきと考えられる。

5. あとがき

予燃焼室タイプの小型漁船機関にとって，乳化燃料の使用は有害との結論を得た。一方，直噴の燃焼室を持つ小型低速機関にA重油と乳化A重油を使用した場合，燃費率や排気温度，排煙濃度の低下とともに，9.5時間運転後の開放結果では乳化燃料を使用することにより燃焼室の汚れが低減ししたとの報告[6]もある。最近では燃費率低減のため，小型漁船機関においても直噴の燃焼室が主流となりつつあるので，さらに検討を進めたい。

参考文献

1) 井上泉：114トン型以西底曳網漁船“第37増丸”，漁船，238号，pp.77～82，1982

2) 小田健一・山田敏夫：漁船機関における乳化燃料の使用について—Ⅰ，水産工学研究所報告，3号，pp. 173～186，1982

3) 昭和ラインエンジニャリング㈱他：エマルジョン燃料油を舶用主機に使う，マリンエンジニヤ，419号，pp. 30～34，1982

4) 岡本哲：中速中小型機関の粗悪油燃焼について，日本舶用機関学会第12回創立10週年記念事業講演会前刷，pp. 11～18，1982

5) 徐錫洪：予燃焼室ディーゼル機関の燃焼，内燃機関，11巻，120号，pp. 240～250，1972

6) 中野善弘ほか3名：舶用低速ディーゼル機関における乳化燃料油の燃焼のすす生成に関する研究，日本舶用機関学会誌，16巻，12号，pp. 37～45，1981

Burning of Oil/Water Emulsified Fuel on Fishing Boat Engine (Part II)

By

Ken'ichi Oda and Toshio Yamada

Summary

For improving the performance of fishing boat engine using a low grade fuel, it is effective to use oil/water emulsified fuel. In the last paper, in a few hours operation, emulsified fuel was effective to reduse a specific fuel consumption, exhaust gas temperature, smoke in exhaust and NOx emission at oil/water ratio 30—40%.

So, to research the effect of emulsified fuel for engine parts, engine tests were undertaken at 100 hour operation used Marine fuel B and emulsified Marine fuel B oil/water ratio 0 wt%, 10 wt%, 30 wt%, and 30 wt% added alkali in the water.

The results are as follows.

On a pre-combustion type diesel engine, because of water in the emulsified fuel cooled the pre-combustion chamber, carbon deposit heaped up pre-combustion chamber wall. This deposit made small pre-combustion chamber and prevented the combustion of the fuel. So, with the progress of operating hours, combustion became worse. Fig. 1—3 show rising the specific fuel consumption, exhaust gas temperature and smoke in exhaust.

Emulsified fuel increased the corrosion wear of fuel system. Fig. 8—10 show that plunger wear and needle valve wear increase in proportion to water conent of emulsified fuel. Alkari added in water was effective to defend the corrosion wear of the needle valve.

These experimental results suggest that oil/water emulsified fuel is unsuitable for the pre-combustion type small-sized fishing boat engine.

水工研報告 4
1983 pp. 107～113

FRP 漁船の制振材の選定について

——漁船機関の発生する振動の低減について——

久保 敏*

目 次

1. はじめに ……107
2. 考え方 ……107
3. 使用した板の諸元 ……108
4. 計測方法 ……108
4.1 損失係数 η ……108
4.2 減衰波形の記録法 ……108
4.3 再生法 ……108
4.4 温度条件 ……109
4.5 T_{60} の決定の仕方 ……109
5. 計測結果 ……109
5.1 η と周波数の関係 ……109
5.2 単板との比較 ……111
5.3 η の温度依存性 ……111
6. あとがき ……112
参考文献 ……112
Summary ……113

1. はじめに

漁船機関が発生する振動を低減させるには機関の防振支持が効果的と思われるが推力を機関で受ける方式の漁船には採用は困難である。

次に考えられるのは伝搬中の減衰の大きな材料を採用することである。このような効果を持たせる素材として制振材と呼ばれるものがある。これは基板の片側に適当な厚さで密着して用い，特に拘束型と呼ばれるものが効果があるとされている。

最近は FRP 漁船が多くなっている。FRP は鋼に比べエネルギの吸収が大きいが一層の効果を上げるには制振材の利用が必要である。この場合注意しなければならないのは FRP との相性を考えなければならない。

既存のものとして剛性を上げるためサンドイッチ構造にしている例があるが中の素材を適当に選択すればエネルギ吸収の大きい板とし利用出来る可能性がある。

今回は減衰特性を表示するものとして損失係数 η を用い5種類の板について相互比較した。

2. 考え方

文献[1]によれば船舶の振動は，その発生源近傍に顕著で，少し離れると急激に下降し，それ以遠は大きな変化はないとされている。このため防振は発生源近傍で行なうのが効果的である。

FRP船の機関による振動の低減を考えるには，上記に基づきエンジンルーム内において極力減衰させておく必要がある。

制振材の使用法には次の2種類がある[2]。

a） 非拘束型

b） 拘束型

機関台の下に用いるには拘束型が好ましいと考えられる。なぜなら機関の重量に耐えるための板が必要である

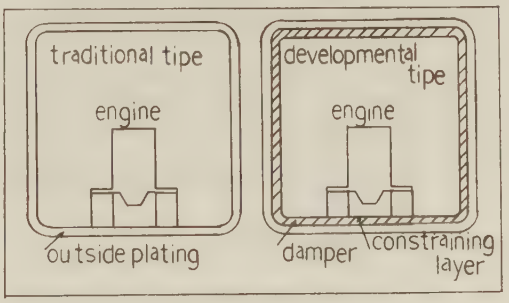


図 1 エンジンルーム―従来型と改良型

Engine room–traditional type and developmental type

* 漁船工学部

からである。逆にいえば機関重量に耐えられる板が結果的に拘束層になると言いかえることが出来る。

そこでエンジンルームを図1の様にし，エンジンルーム内でエネルギの消耗を計る。FRP 漁船では図中の外板に相当するのは FRP 板となる。

次に制振材の選定が必要になる。数多い制振材の中から適当なものを選ぶ際に注意すべきことは，FRP との相性を考慮しなければならない。密着性の良い制振材を選ぶ必要がある。

拘束型モデルに近いものとしてサンドイッチ構造の FRP 板がある。これは本来鋼性を高めるために用いられているが，見方によっては塩化ビニールの発泡体等を制振材とした拘束型制振材と見なせ，流用出来る可能性を持つ。使用上の問題点は特に見あたらない。

3. 使用した板の諸元

板を作るにあたっての仕様は次のようなものであった。Mat 450 g/m², R.Cloth, 570 g/m² 単板は MRM RMRM, サンドイッチ板 は制振材の両面にそれぞれ MRMRMRM と MRM。制振材には以下の4種類を候補として選定した。

a） バルサ（商品名 カンタコア）厚さ 10 mm

b） ポリエステルファイバーと塩化ビニール粒の混合物（商品名 コアマット）厚さ 4 mm

c） 塩化ビニール発泡体（商品名 ビニールフォーム）比重 0.1 厚さ 10 mm

d） 塩化ビニール発泡体（商品名 ビニールフォーム）比重 0.1 厚さ 15 mm

製作は FRP 漁船造船所に依頼した。出来上がった板の寸法・重量は以下の様であった。

1） 単板 $104\times154\times0.4^{t}$ cm　11.39 kg

2） サンドイッチ板（各制振材別に示す）

a） バルサ $101\times151\times1.6^{t}$ cm　20.89 kg

b） ポリエステルファイバーと塩化ビニール粒の混合物（4 mm）$102\times150\times0.9^{t}$ cm　18.34 k g

c） 塩化ビニール発泡体（10 mm）$92\times151\times1.6^{t}$ cm 16.56 kg

d） 塩化ビニール発泡体（15 mm）$92\times151\times2.1^{t}$ cm 17.98 kg

以後は制振材を商品名で呼びたい。

4. 計測方法

4.1 損失係数 η

η は $\tan\phi$（ϕ：力と変位の位相差）であり，対数減衰率 Δ との間に，$\eta=\Delta/\pi$ の関係があり[2]，振動エネルギの熱エネルギへの変換の度合いを表わす。η の計測には拡散振動法を用い次式で近似的に計算される。

$$\eta=\frac{2.2}{T_{60}\cdot f}$$

T_{60}：60 dB 減衰するに要する時間

f：周波数

4.2 減衰波形の記録法

図2に示すように測定用の板を宙吊りにし，中央部へ振動ピックアップを瞬間接着剤にて固定する。これにより得られた振動減衰波形を増巾しデータレコーダーへ記録する。記録時のテープ速度は 38 cm/s である。ハンマーは減衰波形を得る目的で板に衝撃を与えるために用いる。

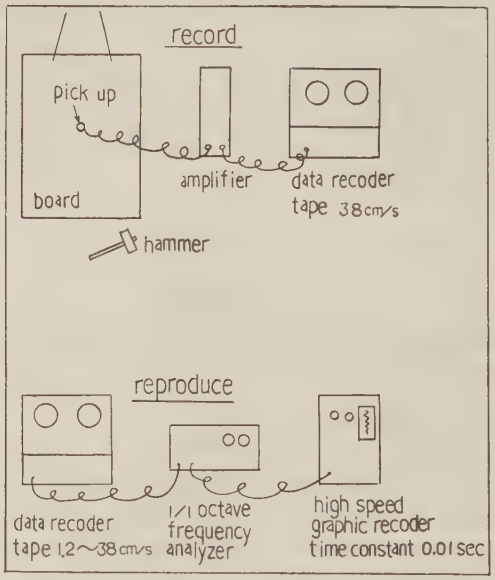


図 2　記録法と再生法

Record and reproduce diagram

4.3 再生法

記録した減衰波形をデータレコーダーより再生し，1/1 オクターブ周波数分析器を通し，高速グラフィックレコーダーにレベルを記録する。同レコーダーの時定数は 0.01 sec であり計測に限界があるため再生テープ速度は，1.2, 2.4, 4.8, 9.5, 19, 38 cm/s の6段階の適当な速度を選択した。当然ながら再生速度に応じ周波数分析器の設定周波数を変化させなければならない。記録時のテープ速度を V とし，再生時を v とすれば，計測周波数 f と設定周波数 F の間には，$F=f\cdot v/V$ の関係がある。

4.4 温度条件

プラスチック系の性質は温度依存性が強いため，これを見るための測定時の気温は 23，25，27，29 ℃ の 4 条件で行なった。

4.5 T_{60} の決定の仕方

拡散振動法から損失係数を求めるには，振動が 60 dB 減衰する時間 T_{60} が必要になるが，S/N 比の限界から，直接これを計測することは不可能である。このため 30 dB 下降する時間 T_{30} を求め $T_{60} \simeq 2 \times T_{30}$ とした。減衰波形は図 3 に示すように必ずしも直線的に減衰していないため，この測定法では若干の誤差が出ることはやむを得ない。

各 T_{30} は 5 個のデータの平均値をとっている。

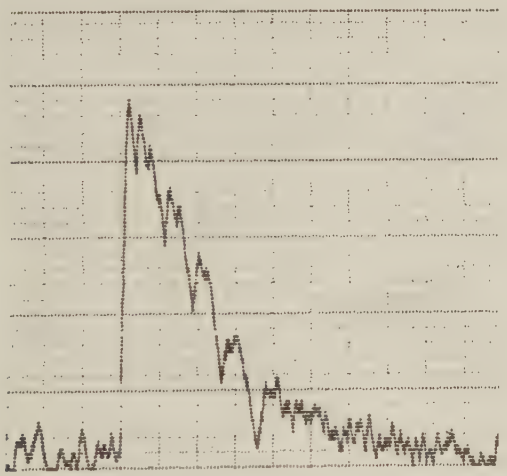


図 3　減衰波形の一例
An example of damping wave form

5. 計測結果

5.1 η と周波数の関係

$T_{60}(2 \times T_{30})$ を求め，4.1 に示した式に従い η を算出した。結果を図 4 に示す。

単板（○印）やコアマットを制振材にしたもの（△印）は周波数依存性が比較的小さい。これに対しビニールフォーム（10 mm）（□印），同（15 mm）（×印）を制振材としたものは強い周波数依存性を示し，周波数の増加とともに高いエネルギ損失が生じることが示されている。

各点は 5 個の減衰波型より得られた値の平均値である

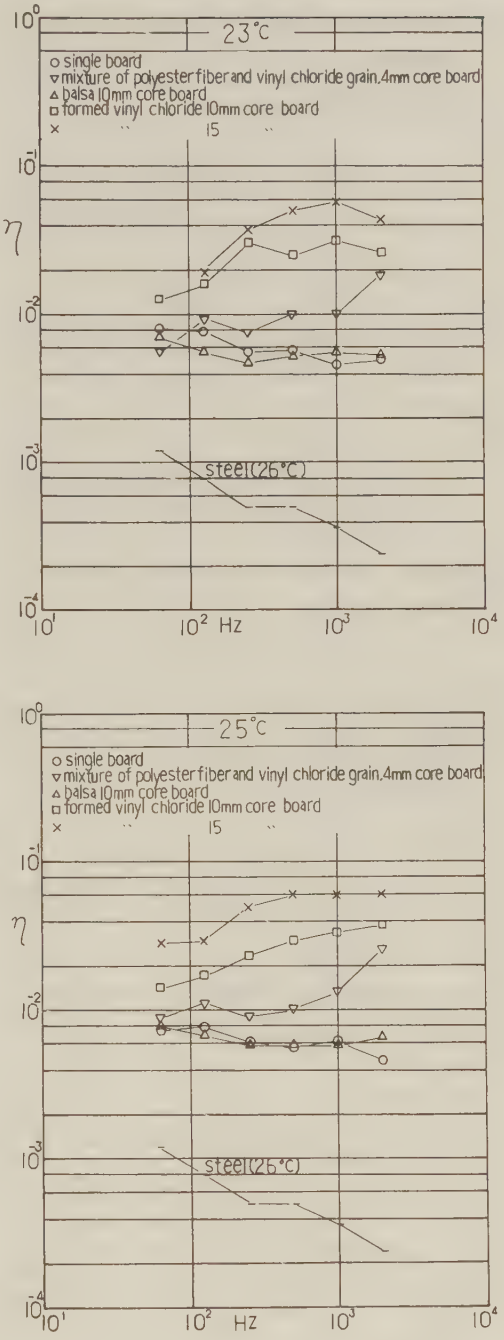
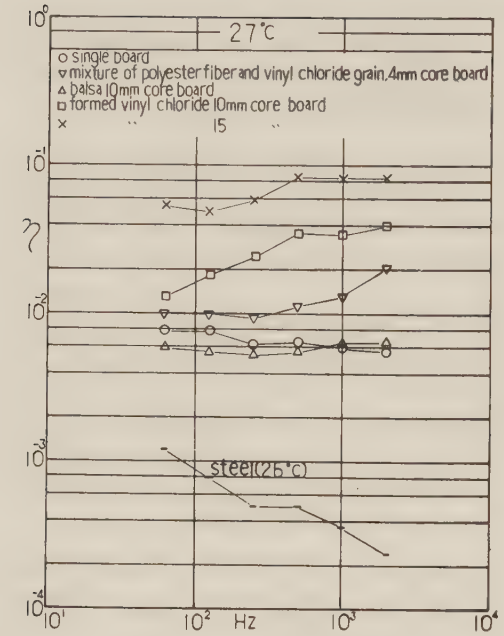
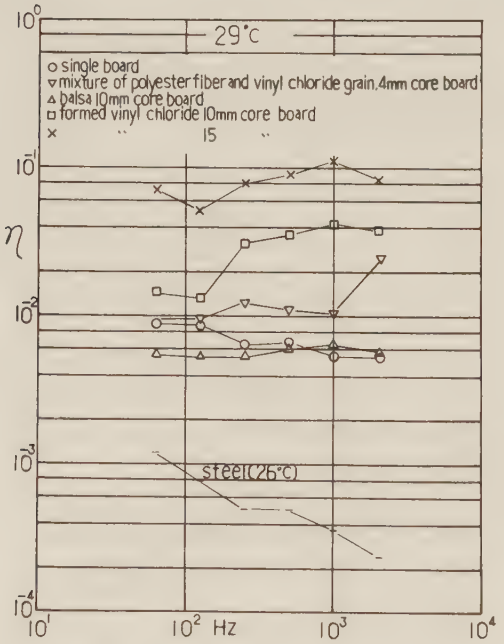


図 4　損失係数と周波数
Mechanical loss factor η and frequency

が，これらのデータの間には大きな誤差はないものの，結果的にプロットされたものには誤差らしきものを生じている。これについては未確認ではあるが，振動が十分拡散していないことが考えられ板の寸法，あるいは衝撃





（図4続き）

を与える場所の変更等考慮しなければならない。

η の大小関係は温度に無関係にほぼ変らず，以下の順位になっている。

ビニールフォーム 15 mm＞同 10 mm＞カンタコア

ただ単板とコアマットを制振材にしたものでは差が明確でない。

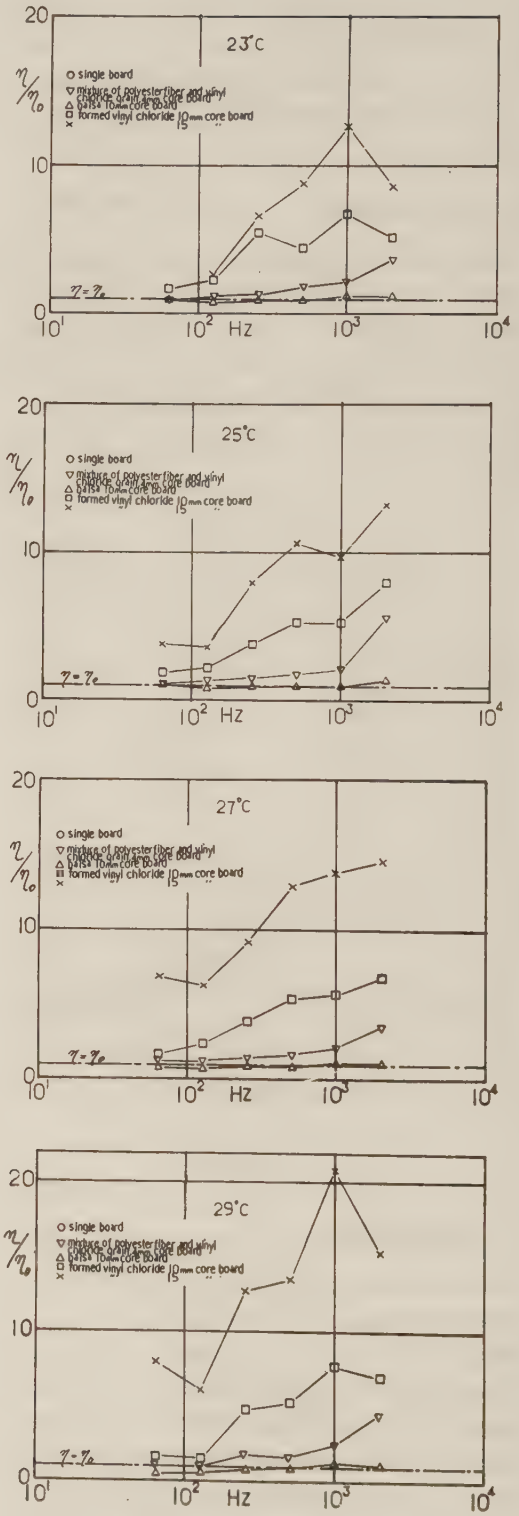


図 5 η/η_0（η_0：単板）と周波数

η/η_0 (η_0 : single board) and frequency

参考のために示した鋼は 26 ℃ で計測したもので温度により大きな変化はないとして掲げている。鋼に比較し FRP は大きなエネルギ損失を生じることが明らかに示されている。

5.2 単板との比較

単板との比較を行うために比を用いた。T_{60}' を単板の減衰時間とすれば $\eta/\eta_0=T_{60}'/T_{60}$ を示すことになる。結果を図 5 に示す。

コアマットを制振材にしたもの（△印）は単板とほぼ一致した値を示し，その差は認め難い。単板に比較し最も大きな値を示すのはビニールフォーム (15 mm) (×印) であり，以下次の順位である。

ビニールフォーム (15 mm) ＞同 (10 mm) ＞カンタコア

これら制振材は，いずれも周波数の増加とともに，単板との差は一層増大する。特にビニールフォーム (15 mm) を制振材にした板の挙動には注目すべきものがある。

温度上昇による影響について見ると，ビニールフォーム (15 mm) を制振材にした板が一番大きな増加を見せ，単板との差は大きく開いてゆく。

5.8 η の温度依存性

プラスチック系の性質は温度依存性が強いことがいわれる。η については図 6 に示すように，特にビニールフォーム (15 mm) を制振材にしたものが強い依存性を示し，温度上昇とともに急激な増大を示し，強いエネルギ損失を生じることがわかる。プラスチック系の温度依存性は一般に山形（凸形）になるとされているが，今回の温度範囲 (23～29 ℃) では，それが表われず，より高い温度で最高値を示すであろうと推測する。

温度変化によって生ずる山の頂点を機関室の壁温に一致させれば最高の減衰性能を示す板となる。山の位置を

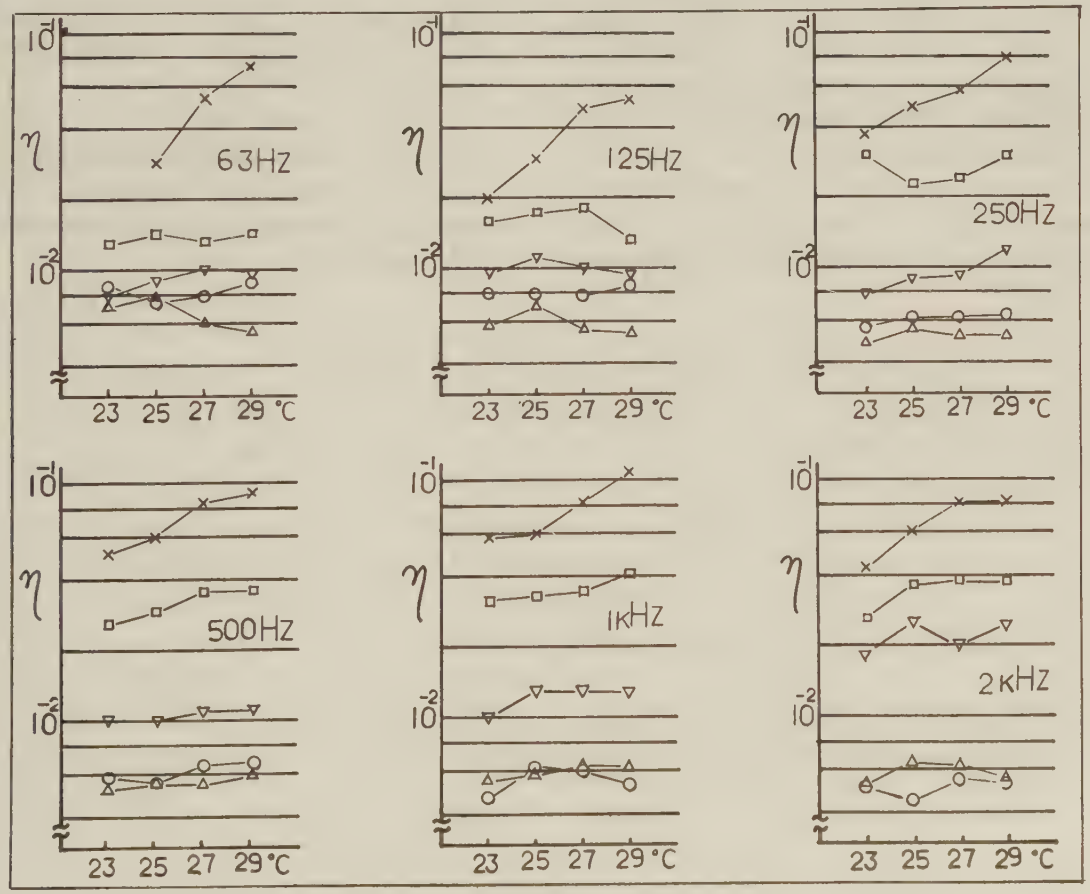


図 6　損失係数 η と温度

Mechanical loss factor η and temperature

コントロールし，さらにエネルギ損失を増大させるには制振材への薬品の添加，発泡条件の変更等の方法があるとされている。

6. あとがき

FRP 製沿岸漁船内振動の低減の問題を伝達過程における熱への消散という観点からとらえ，FRP 漁船に適した制振材の選定について報告した。今回比較した制振材は4種類である。FRP は単板自体，鋼などに比べ高い制振性能を持つことが示されたが，現実の FRP 漁船に於いて振動面から見た作業環境は好ましいものとは思えない。このため，より高い制振性能を持たせるために拘束型制振構造をもったサンドイッチタイプの FRPについて検討した。この構造のものは，既に強度を持たせるために主として比較的大型の漁船に使用されている。

一般にプラスチック系材料の損失係数 η は，温度，周波数に影響されることは，よく知られており，今回の計測でも明確に表われた。まず周波数による影響についてみると，単板との比較で見た場合，いずれの板も低周波（100 Hz 以下）で制振性能は悪化し，振動の低減効果は小さいと思われる。逆に高周波（1 k Hz 以上）では，各板の性能の差は明確に表われた。特に塩化ビニルの発泡体 15 mm 厚を使ったものが，他のいづれの板よりも高い制振性を有することが示され，高周波での振動低減効果は期待できることが予想される。

次に 23 ℃～29 ℃ の範囲の温度変化による影響をみると，この温度範囲内では単板，コアマットを制振材にした板は著しい変化は見られなかった。その他の板は温度上昇とともに性能も上昇することが示された。プラスチック系の損失係数はある温度でピークになることが知られているが，今回の温度範囲ではピークになる温度は不明であった。ただし，温度による変化の様子を見ると，29 ℃ 以上でピークになると思われ，使用条件によってはより高い性能を示すことが期待できる。このピークになる温度は材質の違い，発泡条件の違いにより変化すると思われ今後の課題として残る。

今回は，振動の低減という観点からのみ性能評価しているが，漁船の騒音の低減という観点をも考慮して考えた場合，特に塩化ビニルの発泡体は弾性係数が低いためある特定の周波数で音波の透過が生じることが予想される。小型漁船では機関室に隣り合せてブリッヂ，台所，甲板等諸設備があり，機関室からの透過音の増加は大きな影響を受ける。この観点からの検討も今後必要である。

今後の第1課題として，今回最も大きな制振性能を示した塩化ビニルの発泡体を制振材とした模擬機関室を作り，その効果をみたいと考える。

参考文献

1) 社団法人 日本造船研究協会：第156研究部会，船内騒音に関する調査研究報告書，1976

2) 社団法人 日本音響材料協会：騒音・振動対策ハンドブック，1982

Report on the Sandwich Type GFRP Board as a Damping Material

—— For Reducing the Degree of Vibration Aboard the Fishing Boat ——

By

Satoshi Kubo

Summary

Here is reported on the sandwich type GERP board as a damping material. Mechanical loss factor η is used to compare the propety of the each board. η is defined as:

$\eta=\tan\phi$ ϕ:phase difference between force and displacement

η was measured by diffuse vibration method and is calculated approximately as:

$\eta=\frac{2.2}{T_{60}\cdot f}$ T_{60}: attenuation time occupied for descending 60dB

f: frequency

And T_{60} was approximated to $2T_{30}$, for the reason that the measuring instrument has limits in the respect of S/N ratio.

The boards are as follows.

a) single GFRP board $104\times154\times0.4^t$ cm, 11.39 Kg

b) mixture of polyesterfiber and vinyl chloride grain, 4 mm sandwiched board $102\times150\times0.9^t$ cm, 18.34 Kg

c) balsa 10 mm sandwiched board $101\times151\times1.6^t$ cm, 20.89 Kg

d) formed vinyl chloride 10 mm sandwiched board $92\times151\times1.6^t$ cm, 16.56 Kg

e) formed vinyl chloride 15 mm sandwiched board $92\times151\times2.1^t$ cm, 17.98 Kg

As a result, formed vinyl chloride 15 mm core board shows best property, so when inside of the full at the part of the GFRP fishing boat's engine room is made up of this core board, it will give practical effect on reducing the degree of the vibration and the noise.

But a few points can be indicated by the results, and they are as follows;

1) The damping property η of each board decreases sharply below 100 Hz.

2) The peak value of it can not be seen in the temperature 23°—29°C, although the plastic material has a peak value of it in general.

3) As the values of η, except those of a) and b) boards, increase in proportion to the increse of temperature in 23°—29°C, the peak values of them are supposed to be in the higher temperature.

水工研報告 4
1983 pp. 115～133

海洋データ収集ブイについて

今成栄一*・池田昭男*

目　次

1. 緒言 ……115
2. 本装置の概要 ……115
3. 送信器 ……115
3.1 送信器の構成 ……115
3.2 筐体 ……116
3.3 温度検知部 ……118
4. 漂流式データ収集ブイ（Drifting Data Collection Buoy）の本体 ……119
5. 本体に格納されている機構 ……119
5.1 水深検知部 ……119
5.2 捲取ウインチ ……119
5.3 FSK 復調器 ……120
5.4 リミット検出器 ……120
5.5 着水検出，可変タイマー，ランプドライバー ……121
5.6 制御用コンピュータユニット ……121
5.7 シリコンタンク ……130
6. プリンター（受信装置）……130
7. 電源部 ……130
8. 海上実験 ……131
8.1 実験方法 ……131
8.2 実験結果 ……132
9. 結言 ……132
参考文献 ……132
Summary ……133

1. 緒　　言

漁場資源管理技術及び操業効率の向上を図るためには広域に及ぶ立体海洋観測を行うのが先決である。そこで数年先に計画されている海洋人工衛星打上げに照準を合せ，水深 200 m 迄の情報を得る DDCB（漂流式データ収集ブイ）を研究試作したのでその成果を報告するものである。なお本装置は，当研究室で開発された※STUW（水中での特殊な信号伝送方式）とセンサー昇降機構を採り入れ水面下 200 m 迄の海洋情報を得るように設計されている。以下その詳細を順を追って述べる。

なお試作にあたって株式会社村山電機製作所の深谷吉一，柳新一郎両氏の御協力のもとに行なわれたものでありここに記して感謝の意を表します。

※STUW　Special Transmission for Under Water

2. 本装置の概要

海洋情報収集ブイは試作段階のために水深及び水温の二点に限って計測を行なえるものとしその構成は，

1. 送信装置
　送信器
　温度検知部
　筐体
2. DDCB 本体
3. 本体に格納されている機構
　水深検知部
　捲取ウインチ
　FSK 復調器
　リミット検出器
　着水検出　可変タイマーランプドライバー
　制御用コンピューター
　シリコンタンク
4. プリンター（受信装置）
5. 電源部

からなっている。図 1 に示したのが海洋情報収集ブイの構成図であり，図 2 に示したのがフローチャートであり，図 3 に示したのがブイの総合ブロックである。

3. 送 信 器

3.1 送信器の構成

送信器については，出来る限り小型軽量，低消費電力

* 漁船工学部

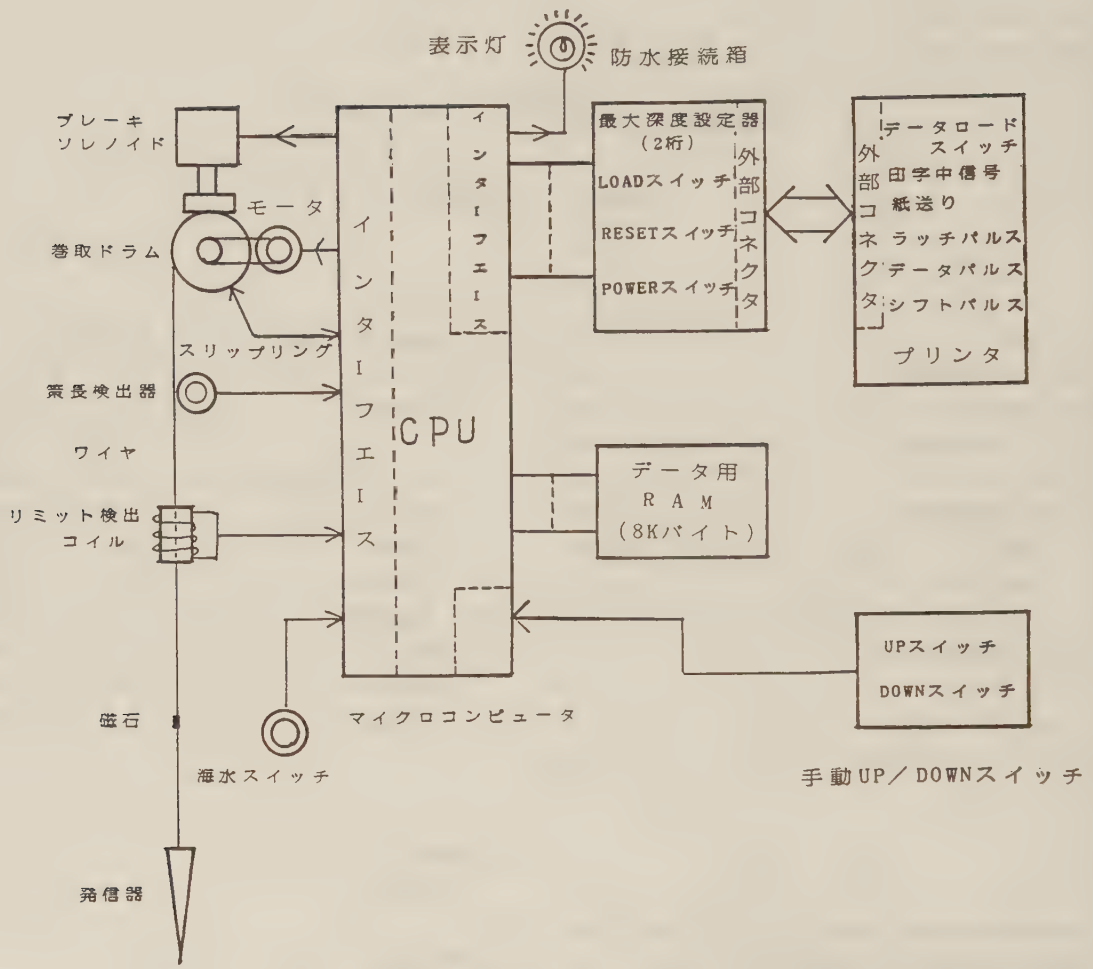


図 1　海洋情報収集ブイの構成
Construction diagram of D.D.C.B

を目標に各種回路を検討および実験したところ，今回使用の A/D コンバータ＋UART と云う構成が最適であると考えられる。送信器のブロックダイヤグラムを図4に示した。③，④は両方共に各1チップ LSI で構成されまた両 LSI とも CMOS プロセス IC のため組合せ時の消費電流は①②③⑤で約 4mA と非常に少なく無負荷時の全電流も約 8mA に押えられている。

④の出力波形を図5に示す。UART は8ビットずつ

図 4　送信器ブロックダイヤグラム
Blook diagram of transmitter

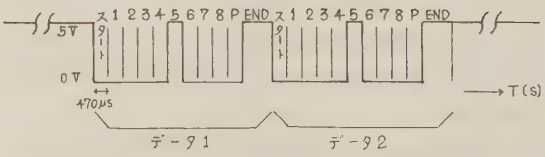


図 5　U.A.R.T 出力波形
Wave form of U.A.R.T

しか変換できないため12ビットのデータは2回に分けて伝送している。

3.2 筐　　体

温度のセンサー及び送信回路，これに必要な電源を含めたすべての送信装置を図6の様な水密筐体中に内蔵し

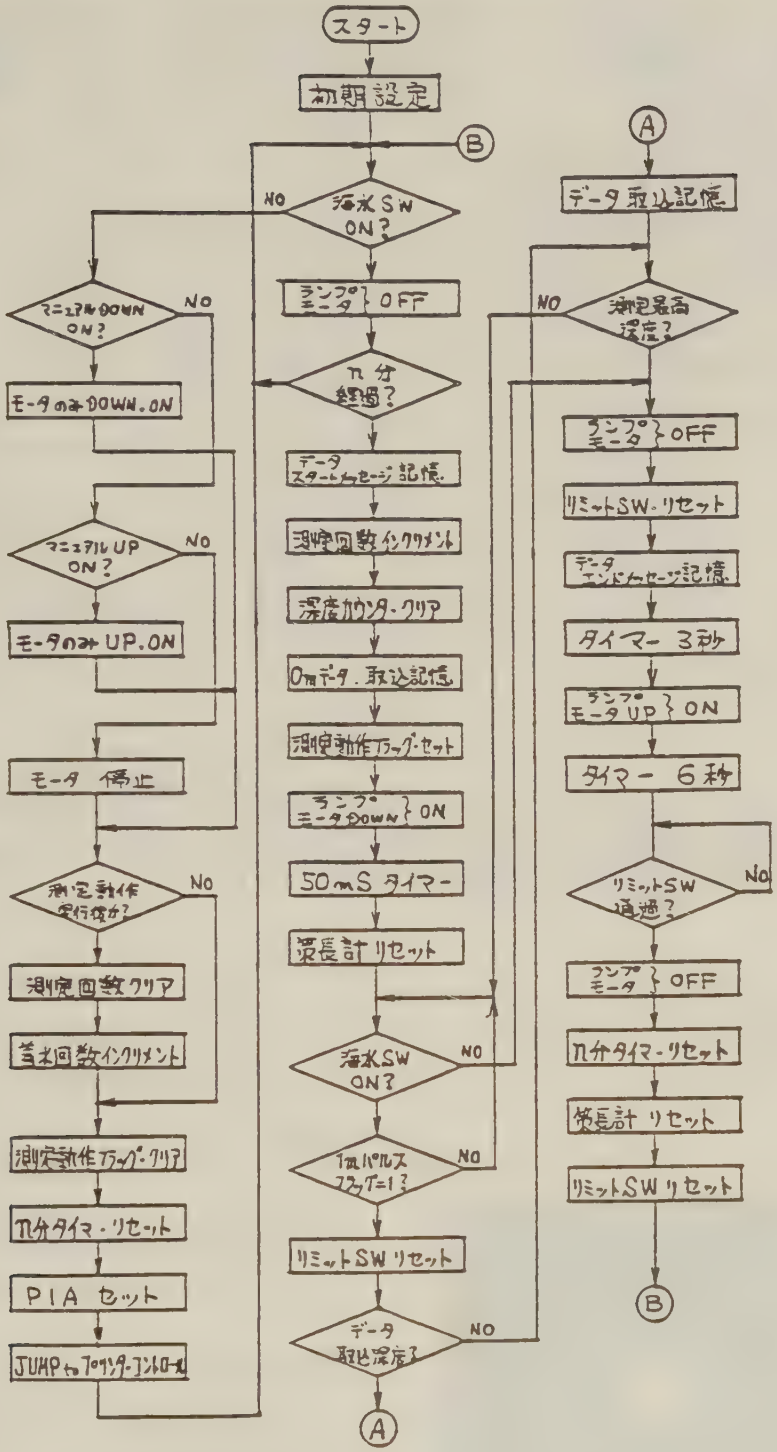


図 2 海洋情報収集ブイシーケンスコントロールフローチャト

Flow chart of seguence Control for D.D.C.B

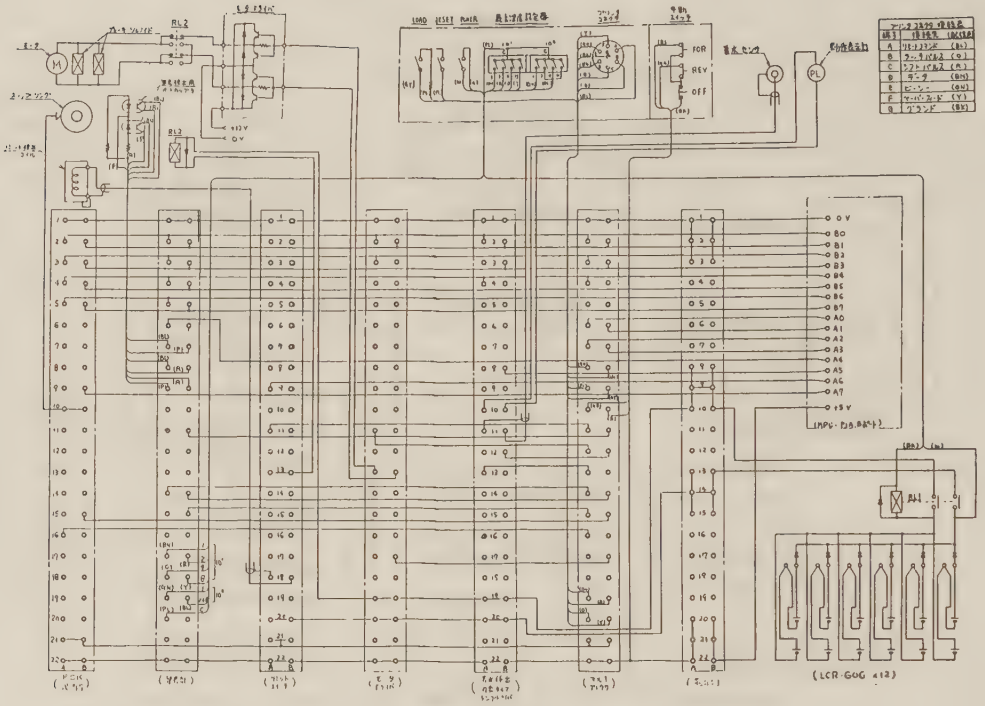


図 3 ブイ総合ブロック
Block diagram of DDCB

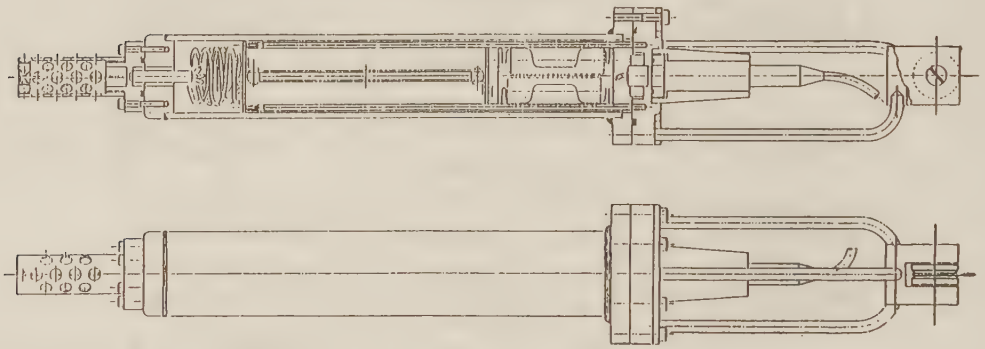
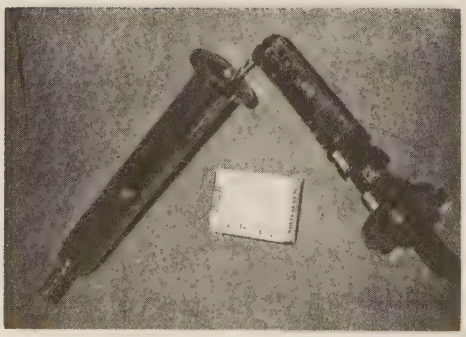


図 6 筐 体 外 観
Transmtiter (include sensor)



写 1 筐体及び送信装置
Transmitter

た。筐体はステンレス SUS316 を使用し全重量（水中）を 1.6 kg とし耐圧を 50 kg/cm²（水深約 500 m 迄）である。写真 1 は筐体及び送信装置であり図 6 は筐体外観である。

3.3 温度検知部

温度検知部は特殊超硬質ガラスに封入した超小型白金抵抗素子（HARD COIL）を使用した。その特長は

1 極小型のため感度が鋭敏である
2 リニアリティーが良い
3 経時変化が少く安定性に優れている

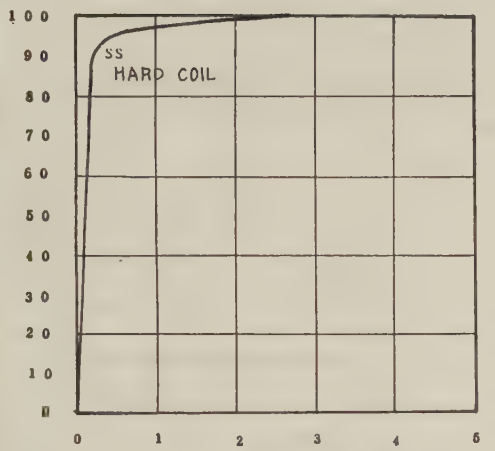


図 7　北辰 HARD COIL 型
白金抵抗素子　レスポンスカーブ

図 7　HARD COIL 型北辰白金抵抗素子レスポンス
Response curve of HARD COIL

4　使用電流 5 mA 以下

5　応答速度が速い。（本機は昇降速度が 0.5 m/sec であるため，特に応答性に優れていなければならない）

図 7 に HARD COIL 型白金抵抗素子のレスポンスカーブを示す。

4.　漂流式データ収集ブイの本体

漂流式データ収集ブイの本体は，海水による腐蝕と軽量化を考慮し強化プラスチックを採用した。全長 1.7 m 電池室は 170 ϕ の円筒形で 725 mm 受信装置及びウインチの格納室は 570 ϕ で長さを 500 mm とした。またブイ本体の強化プラスチック積層厚を 5 PR 本体重量は 28 kg である。その外観及び寸法を図 8 に示す。

5.　本体に格納されている機構

5.1　水深検知部

水深の検知方法は，ワイヤー索を通るガイドローラを利用している。その方法はローラの側面に半分は白色，半分は黒色に色分けしホトリフレクタ（光センサー）によってその回転を電気的に変換し，水深を検出している。

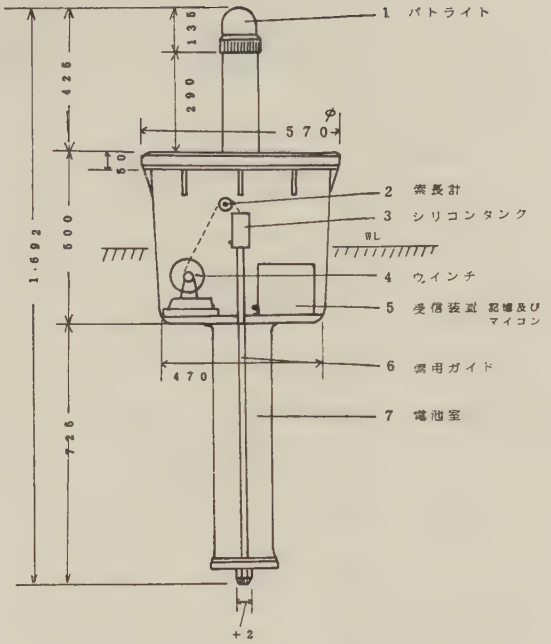


図 8　ブイ本体の概略
theoutside app-earance of buoy

5.2　捲取ウインチ

5.2.1　構　　成

ワイヤー索を 200 m 昇降させるための捲取りウインチであり平歯車 2 段減速を使用した。その構成を図 9 に示した。

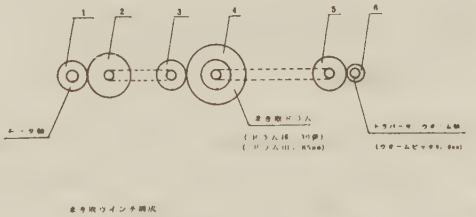


図 9　捲取りウインチ構成
Construcion of winch

5.2.2　減 速 比

モータ軸—捲取ドラム間＝6/143≒1/23.83

捲取ドラム—トラバーサウオーム軸間＝41/20（増速）≒2.05/1

なお各部の減速化を表 1 に示した。

5.2.3　各部毎分回転数

無負荷時の毎分回転数を表 2 に示す。

5.2.4　昇 降 速 度

高速時に於けるワイヤーの繰り出し，捲き揚げ速度を

表1 減速比
Reduction ratio

歯車番号	歯車	備考	減速比
1	12	モータ軸	3/13÷1/4,33 1
2	52		
3	16		2/11÷1/5.5 1
4	88	巻取ドラム軸	
5	41		41/20÷2.05/1
6	20	トラバーサ・ウオーム軸	

表2 毎分回転数
Revolutlon per minut

名称	回転数 RPM( ) 内低速報	回転数 RPS
モータ軸	6,500(4,600)	108.3(76.7)
巻取ドラム軸	272.7(193.0)	4.55(3.22)
トラバーサ・ウオーム軸	559.1(395.7)	9.32(6.60)

表3 昇降速度
Elavation speed

	無負荷時	実測値
くり出し	0.48m/s	0.5 m/s
巻上げ	0.48m/s	0.43m/s

表3に示しその時の負荷重は 0.65 kg とした。

5.3 FSK 復調器

送信機から送られてくる温度情報は F・S・K(Frequency Shift Keying) 方式による P・C・M(Pulse Cord Modulation) 信号であるため帯域増幅器を通した後FM復調器を用いて，シリアルデータレコードを再生している。当初海水スイッチやモータ等のノイズが混入する事を考慮して，入力増幅器に遮断特性のすぐれた，3段スタガ同調方式を採用したが結果的には本器の特殊電送方法の特長であるところの海水によるノイズ遮断効果が非常に大きく全く心配することがなかった。逆にアンプ側の遮断特性が良すぎるため位相のみだれが問題となり調整にやや困難をきたした。本方式の復調方式としては，定 K 形フイルターと増幅器（リミッタ）に P·L·L (Phase Locked Loop) 式の復調器を組合せた物である。図10に本ユニットのブロックダイアグラムを示す。

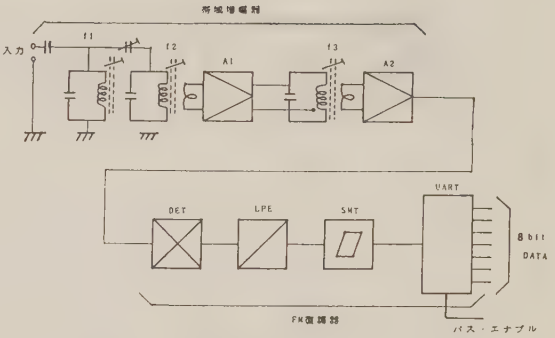


図 10 FSK 復調器ブロックダイアグラム
Block diagram of FSK Demodulater

A_1A_2：リミッタ増幅器
DEF：FM 検波器
LPF：低域濾波器
SMT：シュミットリガ回路
UART：(Universal Asynchronous Receiver Transmitter)

5.4 リミット検出器

本装置の送信器は，ブイ内蔵の捲取り機構により海水中を昇陽するが昇降用ワイヤーの捲取り過ぎの防止と深度 0m を自動補正させられる目的で送信器がブイ本体に接近した事を検出するリミット検出器を設置した。

一般的には防水型のリミットスイッチ等も考えられるが，海水中に浸したまま長時間にわたり未保守で動作させるため信頼性に問題点が残る。そこで本器では垂下用

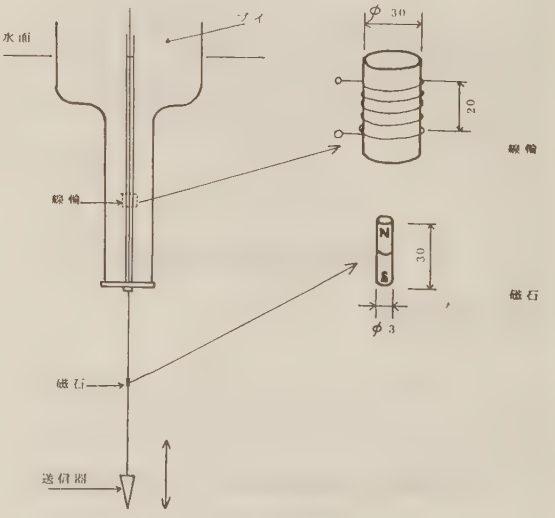


図 11 リミット検出器の構造
Limit detector

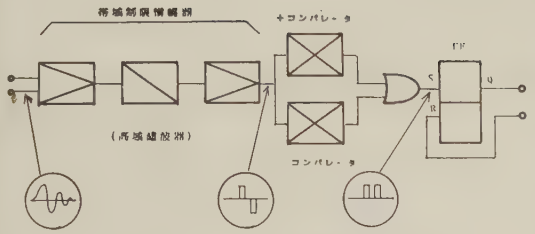


図 12　リミット検出器の構成
Block diagram of limit detector

ワイヤーの通路の周囲に誘導線輪を設置し，ワイヤーの適当な位置に棒状ゴム磁石を取り付け，磁石が線輪の中を通過する時の誘導電力を検出する方法を取り入れた。

結果的にはかなり小さな磁石の通過による起電力においてもまたブイが波によって動揺する時に発生する地磁気との間の起電力と，はっきり識別することが出来る。また磁石が線輪の中を通過する位置には影響を受けないことも確認された。本方式の場合電気回路部品が海水中に露出しないため耐久性またはその他の点でも充分な信頼性があると思われる。構造及び構成を図11図12に示す。

5.5　着水検出，可変タイマー，ランプドライバー

5.5.1　着水検出

ブイ本体が海上に着水したことを検出するための検出器で海水の電気抵抗が低い事を利用している。図13の様に約 120 Hz の交流電圧を利用し，海水の電気気抵抗を R とすると $e_0=E\cdot r/R+r[V]$ の電圧がフォトカプラに印加され，シュミット回路をトリガする。図13に示したのが着水検出回路である。

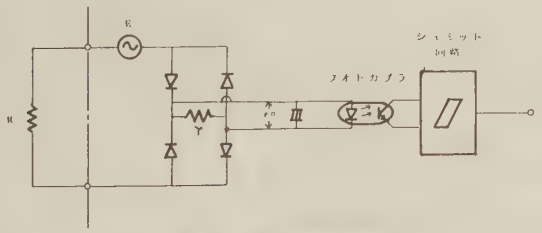


図 13　着水検出回路
Circuit diagram of water detector

5.5.2　タイマー

測定間隔を設定するためのタイマーで現在は 0～15分までの設定器が取り付けてある。その構成を図14に示す

5.5.3　ランプドライバー

試験段階のためのセンサーの昇降を確認する必要があ

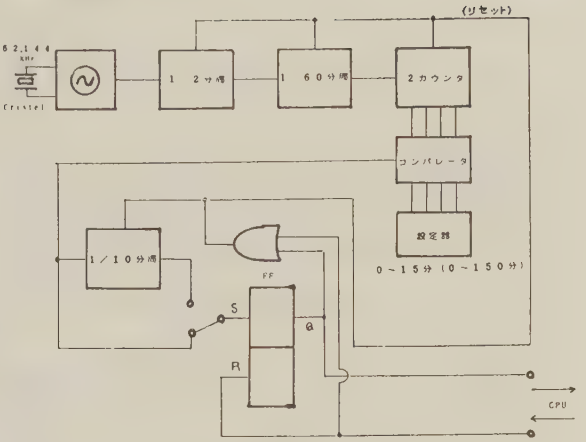


図 14　タイマーの構成
Clock

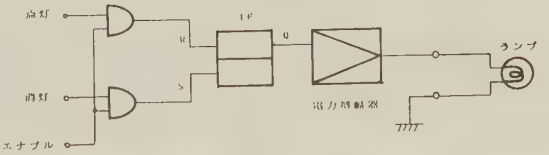


図 15　ランプドライバー構成
Lamp driver

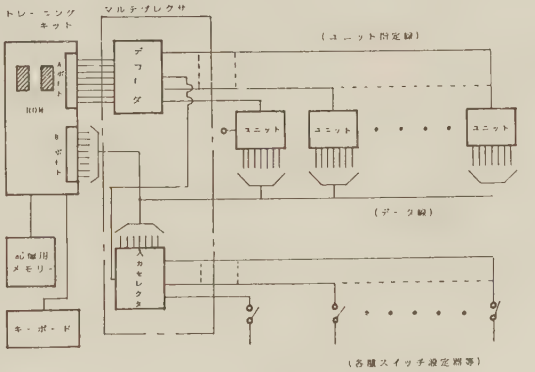


図 16　制御用コンピュータユニットの構成
Conputer unit for　buoy control

る。そのための装置であって C·P·U からの指令をラッチし外部表示灯を点滅する回路である。その構成を図15に示す。

5.6　制御用コンピュータユニット

以上の各ユニットからの情報やユニットへの制御信号を集中して管理するのが制御用コンピュータユニットで

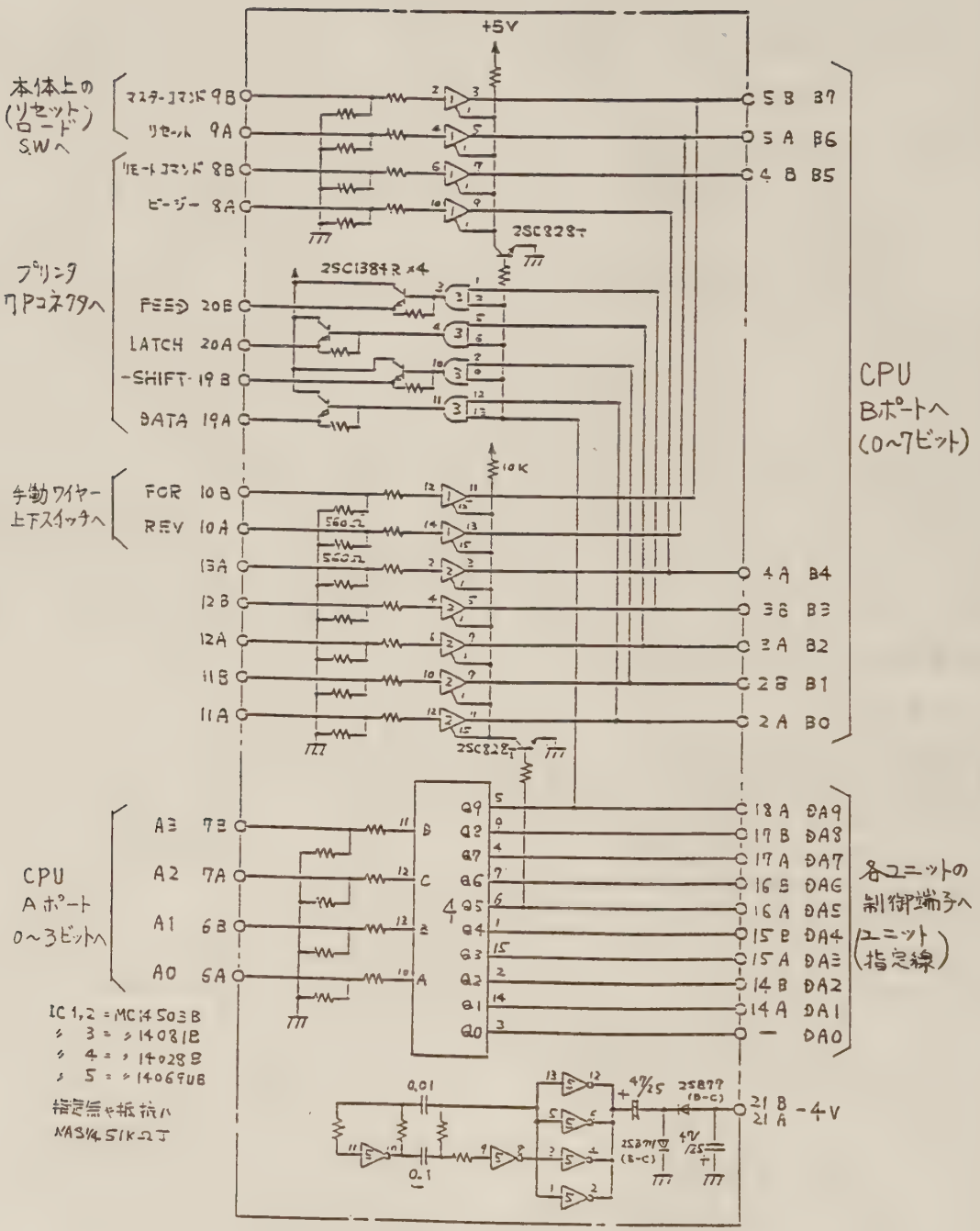


図 17 マルチプレクサブロックダイアグラム

Block diaagram of multiplexer

表 4 プログラムマップ
Program map

アドレス	No.		アドレス	No.	
0000 ～ 0054		ワーキングレジスタ RAMエリア	FB3A ～ FB44	SB27	50mSタイマ
F800 ～ F80A	SB01	Bポート 7～4 bit入力 } セット 3～0 bit入力 } セット	FB4A ～ FB61	SB28	紙送り7行
F810 ～ F81A	SB11	Aポートオール出力セット	FB65 ～ FB6E	SB29	シフトパルス1発
F820 ～ F82A	SB12	Bポートオール出力セット	FB70 ～ FBDF	SB30	策長処理
F830 ～ F83A	SB13	Bポートオール入力セット	FC00 ～ FE42		メインプログラム
F840 ～ F86A	SB14	タイマー1			
F870 ～ F8AA	SB15	タイマー2			
F8A0 ～ F94A	SB19	データ取込			
F950 ～ F9AE	SB20	バイナリ→BCD変換			
F9B0 ～ F9BE	SB21	深度カウンタ加算			
F9C0 ～ F9FE	SB22	データ1バイト転送 （プリンタへ）			
FA01 ～ FABE	SB23	データはき出し印字 （プリンタコントロール）			
FB00 ～ FB1B	SB25	モータ・ランプコントロール			
FB20 ～ FB37	SB26	ラッチパルス出力			

表 5 メインプログラム
Main Program

(1／6)

	アドレス	ニーモニック	機械語 1 2 3		コメント
	FC00	LDS #$FOEF	8E FOEF		S.P. セット
	03	JSR SB13	BD F830		PIAB入力にセット
	06	JSR SB11	BD F810		PIAA出口にセット
	09	LDAA#$00	86 00		PIBBクリア
	0B	STAA $F4OC	B7 F4OC		
	0E	LDX #$0801	CE 0801		着水回数 0801にセット
	11	STX $42	DF 42		
	13	STX $44	DF 44		測定回数 0801 にセット
	15	LDX #$0000	CE 0000		深度カウンタ, リセット
	18	STX $48	DF 48		
	1A	LDX #$1000	CE 1000		プリントデータ アドレス, セット
	1D	STX $40	DF 40		
	1F	LDX #$F40C	CE F4OC		X.セット
	22	LDAA#$05	86 05		データエラー カウンタセット
	24	STAA $08	97 18		
	26	LDAA#$10	86 10		策長計 リセット
	28	STAAX+00	A7 00		
	2A	ASLA	48		タイマ リセット
	2B	STAAX+00	A7 00		
	2D	ASLA	48		リミットスイッチ リセット
	2E	STAAX+00	A7 00		
	30	ASLA	48		DRR クリア
	31	STAAX+00	A7 00		
	33	LDAA#$06	86 86		PIAAセット (ステータス取込)
	35	STAAX+00	A7 00		
	37	CLRA	4F		
	38	STAA $3F	97 3F		
	3A	STAA $54	97 54		
	3C	STAA $41	97 41		
	3E	LDAA#$10	86 10		
	40	STAA $40	97 40		
	42	STAA $4C	97 4C		
	44	CLR $004D	7E 004D		
	47	JMP $FC60	7E FC60		
	4A	NOP	01		
	⌇	⌇	⌇		
	5F	NOP	01		
MEAS	FC60	CLR X+00	6F 00		PIAAクリア
	62	JSR SB13	BD F830		PIAB入力にセット
	65	JSR SB11	BD F810		PIAA出力にセット
	68	LDAA#$06	86 06		PIAA ステータス取込
	6A	STAAX+00	A7 00		
	6C	LDAAX+02	A6 02		ステータス取込
	6E	BITA#$10	85 10		⌇

(初期設定)

(メイン プログラム)

（2／6）

	アドレス	ニーモニック	機械語 1 2 3	↔	コメント	
	FC70	BEQ #$02	27 02		海水スイッチ ON?	
	72	BRA #$03	20 03			
	74	JMP $FCCA	7E FCCA	→ Ⓐ		
	77	BITA#$80	85 80		マニュアル・ダウン ON?	
	79	BEQ #$08	27 08			
	7B	LDAB#$04	C6 04		モータのみ DOWN, ON	
	7D	JSR SB25	BD FB00			
	80	JMP $FC96	7E FC96			
	83	LDAAX+02	A6 02		マニュアル・アップ ON?	
	85	BITA#$40	85 40			
	87	BEQ #$08	27 08	→ Ⓑ		
	89	LDAB#$02	C6 02		モータのみ UP, ON	
	8B	JSR SB25	BD EB00			
	8E	JMP $FC96	7E FC96		モータ停止	
	91	LDAB#$01	C6 01			
	93	JSR SB25	BD FB00			
	96	LDAA $54	96 54		測定開始 フラッグ＝1?	
	98	BEQ #$16	27 16			
	9A	LDAA#$08	86 08		測定開始 リセット	
	9C	STAA $44	97 45			
	9E	LDAA#$01	86 01			
	A0	STAA $45	97 45			
	A2	LDAA $43	96 43		着水回数 インクリメント	
	A4	ADDA#$01	8B 01			
	A6	DAA	19			
	A7	STAA $43	97 43			
	A9	LDAA $42	96 42			
	AB	ADCA#$00	89 00			
	AD	NOP	01			
	AE	STAA $42	97 42			
	B0	CLR $0054	7F 0054		フラッグ・クリア	
	B3	LDAA#$20	86 20		5分タイマー リセット	
	B5	STAAX+00	A7 00			
	B7	CLR X+00	6F 00			
	B9	JSR SB10	BD F800		A・Bポート セット	
	BC	CLR X+02	6F 02			
	BE	LDAA#$09	86 09			
	C0	STAAX+00	A7 00			
	C2	JSR SB23	BD FA01		（プリンタ・コントロール）	
	C5	LDX $46	DE 46		（SB23用Xバック）	
	C7	JMP $FC60	7E FC60			
	CA	LDAB#$09	C6 09	← Ⓐ	ランプ・モータ OFF	
	CC	JSR SB25	BD FB00			
	CF	LDAAX+02	A6 02			
	D1	BITA#$08	85 08			

（3／6）

	アドレス	ニーモニック	機械語 1 2 3	↔	コメント	
	FCD3	BEQ #$02	27 02		5分経過？	
	D5	BRA #$03	20 03			
	D7	JMP $FC60	7E FC60			
	DA	STX $50	DF 50		X待ヒ	
	DC	LDX $40	DE 40			
	DE	LDAA X $FF	86 FF		スタートメッセージ記憶	
	EO	STAA X+00	A7 00			
	E2	LDAA #$01	86 01			
	E4	STAA X+01	A7 01			
	E6	LDAA $42	96 42			
	E8	STAA X+02	A7 02		着水回数記憶	
	EA	LDAA $43	96 43			
	EC	STAA X+03	A7 03			
	EE	LDAA $45	96 44			
	F0	STAA X+05	A7 04		測定回数記憶	
	F2	LDDA $45	96 45			
	F4	STAA X+05	A7 05			
	F6	ADX #$06	EC 06		（Xを＋6）	
	F8	STX $40	DF 40			
	FA	LDX $50	DE 50			
	FC	LDAA $45	96 45			
	FE	ADDA #$01	8B 01			
	FA00	DAA	19			
	01	STAA $45	97 45		測定回数インクリメント	
	03	LDAA $44	96 44			
	05	ADCA #$00	89 00			
	07	NOP	01			
	08	STAA $44	97 44			
	0A	CLRA	4F			
	0B	STAA $48	97 48		深度カウンタクリア	
	0D	STAA $49	97 49			
	0F	JSR SB24	BD FAD0		Omデータ取込	
	12	LDAA #$01	86 01		測定開始フラッグ・セット	
	14	STAA $54	97 54			
	16	LDAB #$14	C6 14		ランプ・モータ（ダウン）ON	
	18	JSR SB25	BD FB00			
	1B	JMP $FE00	7E FE00			
	1E	LDAA X+02	A6 02		海水スイッチON？	
	20	BITA #$10	85 10			
	22	BNE #$1A	26 1A			
	24	JMP $FE20	7E FE20			
	27	NOP	01			
	28	BITA #$02	85 02		1RQ＝1？	
	2A	BEQ #$F2	27 F2			
	2C	JSR SB30	BD FB70			

（4／6）

	アドレス	ニーモニック	機械語 1 2 3	↔	コメント	
	FD2F	LDAA $1B	96 1B		データ取込深度？	
	31	BITA#$03	85 03			
	33	BEQ #$03	27 03			
	35	JSR SB24	BD FAD0		データ取込記憶	
	38	LDAA $1B	96 1B		測定最高深度？	
	3A	BITA#$0C	85 0C			
	3C	BEQ #$E0	27 E0			
	3E	LDAB#$09	C6 09		ランプ・モータOFF	
	40	JSR SB25	BD FB00			
	43	LDAA#$40	86 40		リミット・スイッチリセット	
	45	STAAX+00	A7 00			
	47	NOP	01			
	48	NOP	01			
	49	NOP	01			
	4A	NOP	01			
	4B	NOP	01			
	4C	NOP	01			
	4D	STX $50	DF 50			
	4F	LDX $40	DE 40			
	51	LDAA#$FF	86 FF		エンド・メッセージ記憶	
	53	STAAX+00	A7 00			
	55	LDAA#$02	86 02			
	57	STAAX+01	A7 01			
	59	INX	08			
	5A	INX	08			
	5B	STX $40	DF 40			
	5D	LDX $50	DE 50			
	5F	NOP	01			
	60	NOP	01			
	61	NOP	01			
	62	NOP	01			
	63	NOP	01			
	64	LDAA#$3C	86 3C		タイマー（3秒）	
	66	JSR SB27	BD FB3A			
	69	DECA	4A			
	6A	BNE #$FA	26 FA			
	6C	LDAB#$12	C6 12		ランプ・モータ（アップ）ON	
	6F	JSR SB25	BD FB00			
	71	JMP $FE30	7E FE30			
	74	LDAAX+02	A6 02		NMI＝1？	
	76	BITA#$01	85 01			
	78	BNE #$20	26 20			
	7A	JMP $FD74	7E FD74			
	7D	NOP	01			
	7E	NOP	01			

（5／6）

	アドレス	ニーモニック	機械語 1 2 3	↔	コメント	
	FD7F	NOP	01			
	80	NOP	01			
	81	NOP	01			
	82	NOP	01			
	83	LDAB#$09	C6 09		} ランプ・モータ OFF	
	85	JSR SB25	BD FB00			
	88	LDAA#$20	86 20		} 1～15分タイマ リセット	
	8A	STAAX+00	A7 00			
	8C	LDAA#$50	86 50		} 策長計・リセット	
	8E	STAAX+00	A7 00			
	90	LDAA#$06	86 06		} PIA・ステータス 取込にセット	
	92	STAAX+00	A7 00			
	94	JMP MEAS	7E FC60			
	97	NOP	01			
	98	NOP	01			
	99	NOP	01			
	9A	LDAA#$14	86 14			
	9C	JSR SB27	BD FB3A			
	9F	DECA	4A			
	A0	BNE #$FA	26 FA			
	A2	JMP $FD83	7E FD83			
	A5	NOP	01			
	A6	NOP	01			
	≀	≀	≀			
	FE	NOP	01			
	FF	NOP	01			
	FE00	JSR SB27	BD FB3A			
	03	LDAA#$10	86 10			
	05	STAAX+00	A7 00			
	07	CLR X+00	6F 00			
	09	LDAA#$06	86 06			
	0B	STAAX+00	A7 00			
	0D	JMP $FD1E	7E FD1E			
	0E	NOP	01			
	≀	≀	≀			
	1F	NOP	01			
	20	LDAA#$40	86 40			
	22	STAAX+00	A7 00			
	24	CLR X+00	6F 00			
	26	LDAA#$06	86 06			
	28	STAAX+00	A7 00			
	2A	LDAAX+02	A6 02			
	2C	JMP $FD28	7E FD28			
	2F	NOP	01			

（6／6）

	アドレス ニーモニック	機械部 1 2 3	↔ コメント	
	FE30 LDAA#$40	86 40		
	32 STAA[X]+00	A7 00		
	34 LDAA#$78	86 78		
	36 JSR SB27	BD FB3A		
	39 DECA	4A		
	3A BNE #$FA	26 FA		
	3C LDAA#$06	86 06		
	3E STAA[X]+00	A7 00		
	40 JMP $FD74	7E FD74		
	41 NOP	01		
	42 NOP	01		
	FFF7 NOP	01		
	F8	FC60		
	FA	FC60		
	FC	FC60		
	FE	FC60	（リスタート・ベクトル）	

各機構の制御と共に水深，水温のデータの処理演算や，記憶を行いブイが船上に回収された時にはデータプリントアウト用のプリンターのコントローラとして動作する様プログラムが組まれている。今回のブイはセンサー昇降機構や，データの受け渡し，海水スイッチ等の各部を単独で動作試験できるコンピューター自体はキーボート付トレーニングキッドを使用し，そのインターフェース用1/0端末を他のユニットとのインターフェースに使用している。各ユニットの単独調整，試験を行ないたい時はキット付属のモニターROMを挿入し，キーボードからの入力で各ユニットをコントロールすることが可能である。またキーボードに付属の表示器に送信器からのデータを表示させて送信器の調整等も行なうことができる。調整終了後はモニターROMをはずし新たにプログラムしたブイ用 EPROM を挿入することにより自動観測ブイとしての動作を行なわせる様にした。その構成を図16に示した。図16でわかる様にAポート（8ビット）は各ユニットや機器の指定を行い，Bポート（8ビット）はそれぞれ指定されたユニットや機器とのデータのやりとりに使用している。またデコーダ及び入力セレクター部のマルチプレクサのブロックを図17にプログラムマップ及びメインプログラムを表4，表5に示した。

5.7　シリコンタンク

ビニール被覆した伝送線を兼ねた昇降索の破損による絶縁低下を防ぐために（図8参照）ブイの中央にシリコンタンクを設けその中に高粘度シリコンを挿入し，検知部昇降の際そのタンクに昇降索が通りぬける事によって索のピンホール及びビニール被覆が多少剝離しても一時的にシリコン被覆ができ絶縁性が保たれるために何ら支障なく伝送することが出来る様にした。なおシリコンによって，どの位い減衰が防げるかと云う問題に関して各周波数別に種々実験をした。図18がその結果である。

6.　ブリンター受信装置

ブイ内部の記憶用メモリーに記憶された水深及び水温データを読み出して表示または記録を行なうための外部装置でブイ本体とは7芯のコネクター付ケーブルで接続される。内部構成を図19に示した。

7.　電　源　部

電源部に使用する電池は小型シール鉛電池を使用し，現在市販されている鉛電池は Pb-Ca，Pb-Sb 等の組合せがある。この小型シール鉛電池は長所を失なわず弱点のみに改善されている。そこで従来の鉛電池の違いをわ

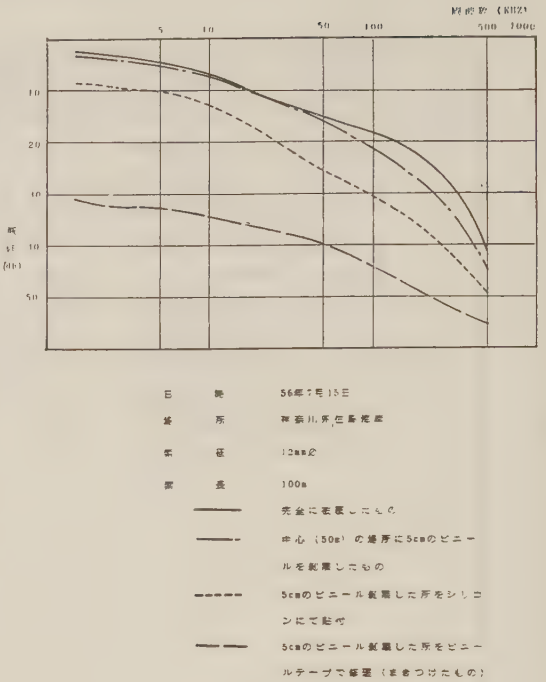


図 18　シリコン被膜による減衰特性
Freguenency-aattenuation relationships

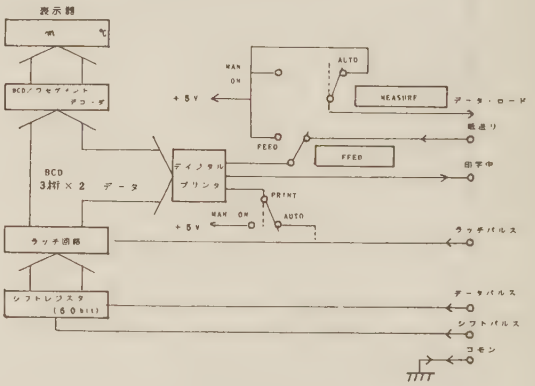


図 19　プリンター内部構成
printer

表 6　電池特性の長所と弱点
Compared tabl for 3 kinde of Batterys character

格子合金 ＼ 項目	従来品 Pb-Ca 鉛カルシウム	従来品 Pb-Sb 鉛アンチモン	小型シール鉛電池 特殊合金
サイクル寿命	△　○	○	○
スタンバイ寿命	○	×	◎
自己放電	○	×　△	○
過放電後充電回復数	×	△　○	◎
耐過充電性	×	×	○

表 7　特性及び仕様
Specification of Batt

容量	20時間率（320A）	6.4 Ah
	10時間率（600mA）	6.0 Ah
	5時間率（1100mA）	5.5 Ah
	1時間率（4000mA）	4.0 Ah
内部抵抗	完全充電状態電池（20C）	約20mΩ
容量の温度低存性（10時間率）	40C	105%
	20C	100%
	0C	85%
	20C	60%
自己放電（20C）	3ケ月放置後	91%
	6ケ月放置後	82%
	12ケ月放置後	64%
端子	AMPファストン250タブ端子（厚さ0.8mm）	
充電方法（定電圧） 繰返し使用	初期電流	2.4 Ah 以下
	制御電圧	7.3～7.5V（6V電池当り20℃）
充電方法（定電圧） トリクル使用	初期電流	2.4 Ah 以下
	制御電圧	6.8～6.9V（6V電池当り20℃）

表 8　定　格
Batt character

公称電圧		6 V
公称容量（10時間率）		6 Ah
寸法	総高	115 mm
	巾	91 mm
	長さ	49 mm
重量		約1200 g

表 9　D.D.B 実測値
Data

150	10.4 t
145	11.0 t
140	12.7 t
135	13.3 t
130	13.5 t
125	13.7 t
120	13.8 t
115	13.9 t
110	14.2 t
105	14.5 t
100	14.7 t
095	15.0 t
090	15.4 t
085	15.7 t
080	15.9 t
075	16.0 t
070	16.1 t
065	16.5 t
060	16.8 t
055	16.9 t
050	17.1 t
045	17.1 t
040	17.4 t
035	17.6 t
030	18.0 t
025	18.4 t
020	18.9 t
015	19.9 t
010	20.2 t
005	20.3 t
000	20.3 t
001	007

かり易く一覧表にまとめてみたのが表6である。

各特性において良好なものから順に｜○△×印である。上記表6でわかる様に従来型と比較して数段優れている特性及び仕様を表7に定格を表8に示した。

以上の特長を取り入れた電池を使用したブイの電源部は6〔V〕6〔AH〕のバッテリーを2個直列したものが6組並列に接続され 12〔V〕36〔AH〕として使用している。

モ--タ作動時の全消費電流は 3～5〔AH〕なのでインターバルや設定深度にもよるが10時間以上は使用可能である。

また本装置の電源スイッチはブイの蓋に固定された防水接続箱中に設置され，このスイッチの操作によりメモリーやマイコンを含めての全電源が開閉される。

本体下部に設置の海水スイッチは電源系統とは関係なく，前述のプログラム上で CPU がブイの着水を検出するために使用している。

8. 海上実験

8.1 実験方法

日本海の香住沖約 20 km の地点において長さ 30 m のロープにより， DDCB を新但馬丸に繋留させて実験を行なった。

実験船　　新但馬丸（118.67 トン）

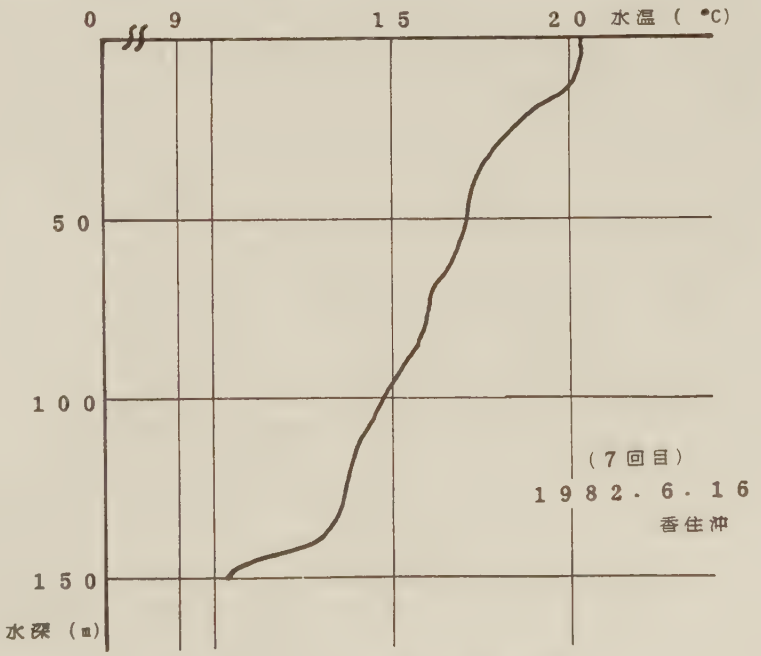


図 20　D.D.C.B による水深と水温の実測値
Depth-tempreture relatioeships

（兵庫県立水産試験所漁業調査船）

日　時　1982年6月12日（晴）

場　所　日本海香住沖

水　深　220 m

8.2 実験結果

水深 150 m，計測インターバルを3分に設定し10回の昇降実験を行い船上において観測値のデータをプリントアウトした。なお1回測定時間は（水深 150 m 昇降所要時間）約6分でありその時の潮流速は 0.8 kt であった。

その実測データの7回目を表9に示し，その結果を図20に示した。なお今回の実験では，当初の設計通りの満足ゆく結果が得られた。

9. 結　　言

今回の試作機については，実験の結果ほぼ満足すべき結果が得られた。特に小径ワイヤーでの伝送信号の減衰が思いの外少ないことと，シリコン被膜による絶縁効果が良かったことの二点については予想を上回り今後の実用化を考えるとき大きな自信を得た。反対に今後の問題として残るものでは，一番厄介な点が電源の問題である。連続にわたる長期観測，小型軽量化を目的としたDDCB であるので電池格納室の大きさはおのずと限度がありどうしても二次電池を用いて波力又は太陽エネルギー等による充電方法を考えなければならない。第2として塩分，濁度，DO 等の経時変化の少ない小型堅牢なセンサーも開発しなければならない。第3に海洋での回収率が低いと見て極端に言えば，使い捨ての積りでコストの低廉化を図らなければならない。今後以上の三点を重点的に研究し，我が国に於て数年後打ち上げ予定の MOS（Marine Observation Satelite）に間に合うよう実用化研究を進めて行くつもりである。

参考文献

今成栄一，池田昭男：曳航電送式水温水深計の研究（新水中電送方式の実験）水産庁漁船研究室漁船研究技報 第29巻 67号 1976

松下電器産業株式会社 技術資料

松下電池工業株式会社（小型シール鉛蓄電池）（蓄電池事業部）

Study on Drifting-type Data Collection Buoy

By

Eiichi Imanari and Akio Ikeda

Summary

After few years, our country plan to shoot the satelite named MOS for marine observation. Terefore we designed drifting-type data collection buoy with a link in the chain of MOS planning. So we report on the detail of this instrument. And the main specification are as follows.

(1) Mesuring element Depth and Tempreture
(2) The sphere of measuring
  a) Depth——from 0.5 m to 200 m
  b) Tempreture——from 0°C to 30°C
(3) Weight——80 kg
(4) The maximum of continuous mesuring time——about 15 hours

水工研報告 4
1983 pp. 135～162

魚体反射及び魚群減衰測定用プログラマブル多周波送受信装置

石井 憲*・古沢昌彦*・宮野鼻洋一*

目 次

1. はじめに ……135
2. 原理 ……136
3. 各部の構成 ……137
3.1 発振部 ……137
3.2 水中超音波送受信系 ……138
3.3 バンドパスフィルタ ……139
3.4 反射波用ゲイン・プログラマブル・アンプ …139
3.5 アナグロ信号処理部 ……139
3.6 GP-IB インターフェイス ……139
4. 検討 ……143
4.1 アナグロ部 ……143
4.2 測定方法 ……145
5. おわりに ……145
参考文献 ……147
Summary ……148
付録 ……149

1. はじめに

積分方式によって魚量を推定するには，測定した体積散乱強度を，魚種ごとのターゲットストレングスに従って，分布密度に変換して行なう。

筆者らは，先にターゲットストレングス測定における同時較正法を考案し，その有効性を報告した[1]。そこでは，測定を容易にかつ正確にするため，反射波や直接波を自動的に読み取り印字したり，多周波について一連の測定及び処理を計算機の制御の元で行えるシステムの必要性を述べた。

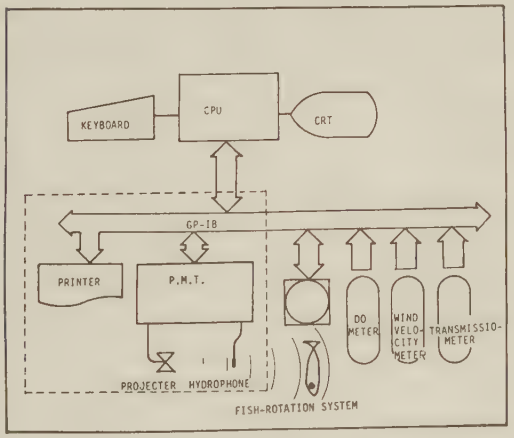


図 1 P.M.T. システムの構成
Block diagram of P.M.T. system

今回，同時法によるターゲットレングス測定[2]を主として，2ハイドロホン法による魚群減衰の測定[3]もできる超音波送受信システムを開発した。

図1は本システムの構成図である。図中，プログラマブル多周波送受信装置（P.M.T.）は超音波の多周波送受信機である。この P.M.T. と送波器，ハイドロホンそしてプリンタによる構成を P.M.T. システムと呼ぶ。

P.M.T. システムは最小構成の一次測定システムであるが，汎用インターフェイスバス（GP-IB）を採用したので，二次測定システムに容易に拡張できる。

P.M.T. はローカル動作とコンピュータによるリモート動作の切り換えが可能な様に設計した。

一次測定システムでは，パネル上のつまみでパラメータの設定と，超音波の送受信を行ない，出力データを自動印字する。プリンタは，リスン・オンリ・モードで動作させる。今回はこの段階のシステムについて報告する。

二次測定システムではシステム制御とデータ処理を受け持つコンピュータを導入する。この二次システムでは一次測定システムで目読していた環境情報をオンラインで読み取る予定である。又，新しく魚体の自動回転機構を開発し，オンライン制御する予定である。

* 漁船工学部

端末は15台迄接続可能であり，研究用途に応じて自由に構成を変更できる。コンピュータに測定プログラムを登録して，自動測定を行なう。音響パラメータの変更やデータの補正，測定条件の印字機能を含ませてプログラムを組めば，船上で効率よく測定できる。

2. 原　　理

ターゲットストレングスの同時較正法では，送信波と魚体による反射波を同時に測定し，それら2者の比をとることにより送受波感度の項を消去する[1]（即ち，較正を同時に行なう。又は，較正を不要にする）。このことにより，較正の手間，較正の誤差を大幅に減らすことができる。

一方，2ハイドロホン法による魚群減衰測定[3]では，魚群への入射波と魚群の透過波を同一送信波に対し測定し，入射波の変動の影響を除去できる。

従って，これらの測定を可能にする送受信システムは，直接波（又は入射波）と反射波（又は透過波）の測定を，同一送信波に対して行う必要がある。ターゲットストレングスの測定に於ては，反射波レベルは直接波レベルに対して非常に小さいので，測定系の直線範囲を広げるためには，反射波レベルを直接波レベルまで予め増幅しておく系統（Rチャネル）が必要となる。

又，ターゲットストレングス及び魚群減衰は，かなり大きな周波数特性を示すと考えられるので，魚探周波のほぼ全域をカバーできる周波数について上述の測定を行う必要がある。従って，今回の装置は 25，50，100，200 kHz の4周波について，上記の二波が測定できるように設計した。

図2は送受信系の流れをブロック図にしたものである。

タイムチャートも併記した。受信信号は4チャネル・バンドパスフィルタ通過後，直接波の通るDチャネル（DCH.）と反射波の通るRチャネル（RCH.）の2チャネルにふりわけられる。

RCH. はアナログスイッチへの制御信号 Ta が 1（Low）の時導通する。そのタイミングは送信パルスがトリガされてから t_2-t_f 後である。このように，反射波用プログラマブルアンプへの信号は通常直接波で飽和しないように OFF になっている。そして反射波の測定点（t_2）より t_f 先行した時点から入力される。

A/D 変換器はサンプリングパルス T_1，T_2 によって，次々 L.P.F. 出力をディジタル値に変換する。そのタイミングは t_1，t_2 であり5チャンネル・オシロスコープで目視しながらそれぞれ2桁のディジタルスイッチを手動で設定する。

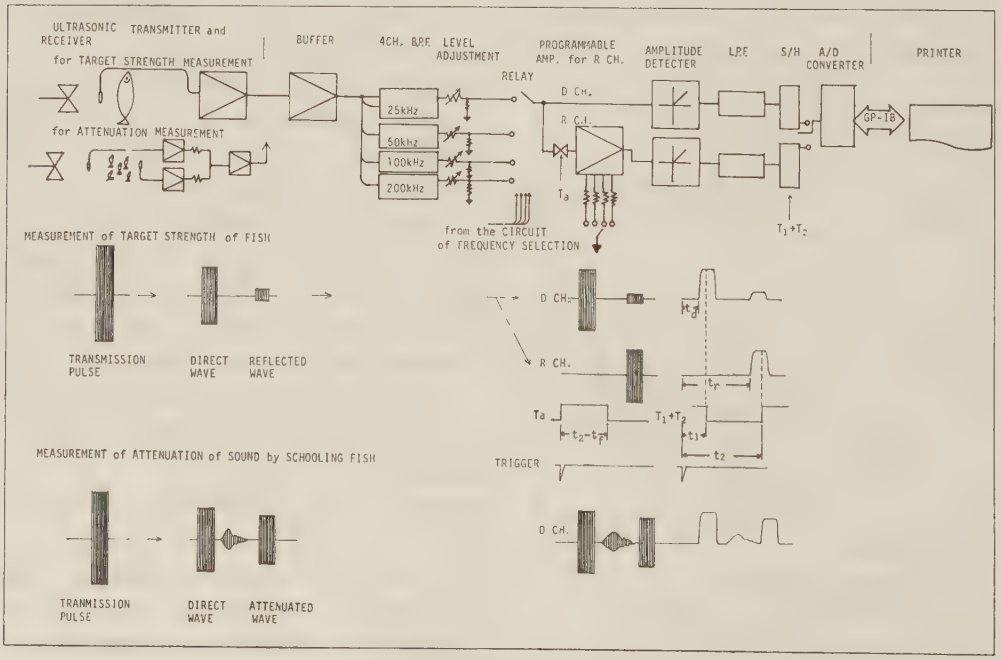


図 2　送受信系のブロック図

Block diagram of the analog circuits in the transmitter and receiver

尚，発振から直接波と反射波の立ち上がり迄の時間をそれぞれ t_d，t_r と呼んでいる。

3. 各部の構成

P. M. T. の各部の回路図は付録に示した。

3.1 発 振 部

処理できる送受信周波数の帯域は 25 kHz～200 kHz であり，魚群探知機に使われている周波数をほぼカバーしている。25，50，100，200 kHz の 4 周波が内蔵された発振器により，送波可能である。又，搬送周波数の外部入力端子（EXT. IN）を使えば，任意の周波数について測定できる。周波数の組み合わせは次の通りである。

a) トーク/リスン・オンリ動作の場合

(1) 25-50-100-200 kHz の繰り返し。

(2) 25，50，100，200 kHz 各周波数だけの繰り返し。

b) リモート動作の場合

プログラムにより任意に設定できる。

送信パルスのパルス幅は 0.1 ms 幅の短パルスから 0.1 ms きざみで 9.9 ms 迄任意にディジタルスイッチにより設定する。この値は CPU から出力命令を受けると，CPU へ転送できる。

図 3 に発振部のブロック図を示す。破線の送波器は，搬送波を外部から入力した場合に用いる。パワーアンプ部への入出力段では同じ制御信号でリレーを切り換えている。出力段のリレーに対する制御信号は，残響を防止する意味では，バースト波の後縁で切れるように，専用のコントロール信号を用いるべきであるが，今回は回路を簡略にして，3 ケ所で併用した。

図 4 に発振部のタイムチャートを示す。関連する回路図は付録の RP 4，RP5，RP7 である。送信開始指令の M-STT (Multi-start) を出したあと，リレーのチャタリング期間の余裕をみて，20 ms 後に送信トリガーを出す。5 チャネルオシロスコープへのトリガー出力は DELAY から作る。バースト波作成のゲート信号 BURSTG (Burst gate) は基準クロックと一度同期化しているが，同じ基準クロックから B. P. F. を通して作られる正弦波はその分だけ遅れる。その為，バースト波の開始点は，ディレー回路を入れて調節しているものの，周波数ごとに若干のずれが生じる。

パワーアンプの出力段には 2SD 760 と 2SB 720 を用いたが，200 kHz ではスルーレートに制限されて，他の周波数より，出力電圧が小さい。送波器への印加電圧は，±40 V の電源電圧で，25，50，100 kHz が 60 Vpp，200 kHz が 40 Vpp である。表1. に各周波数の送波音圧

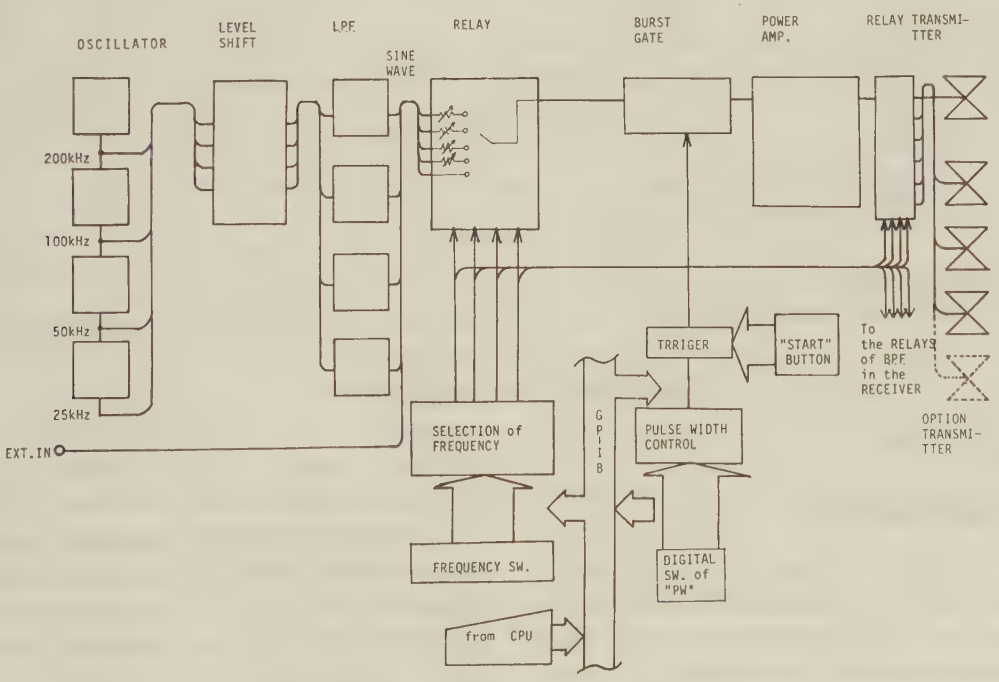


図 3　発振部のブロック図

Block diagram of the oscillator circuits

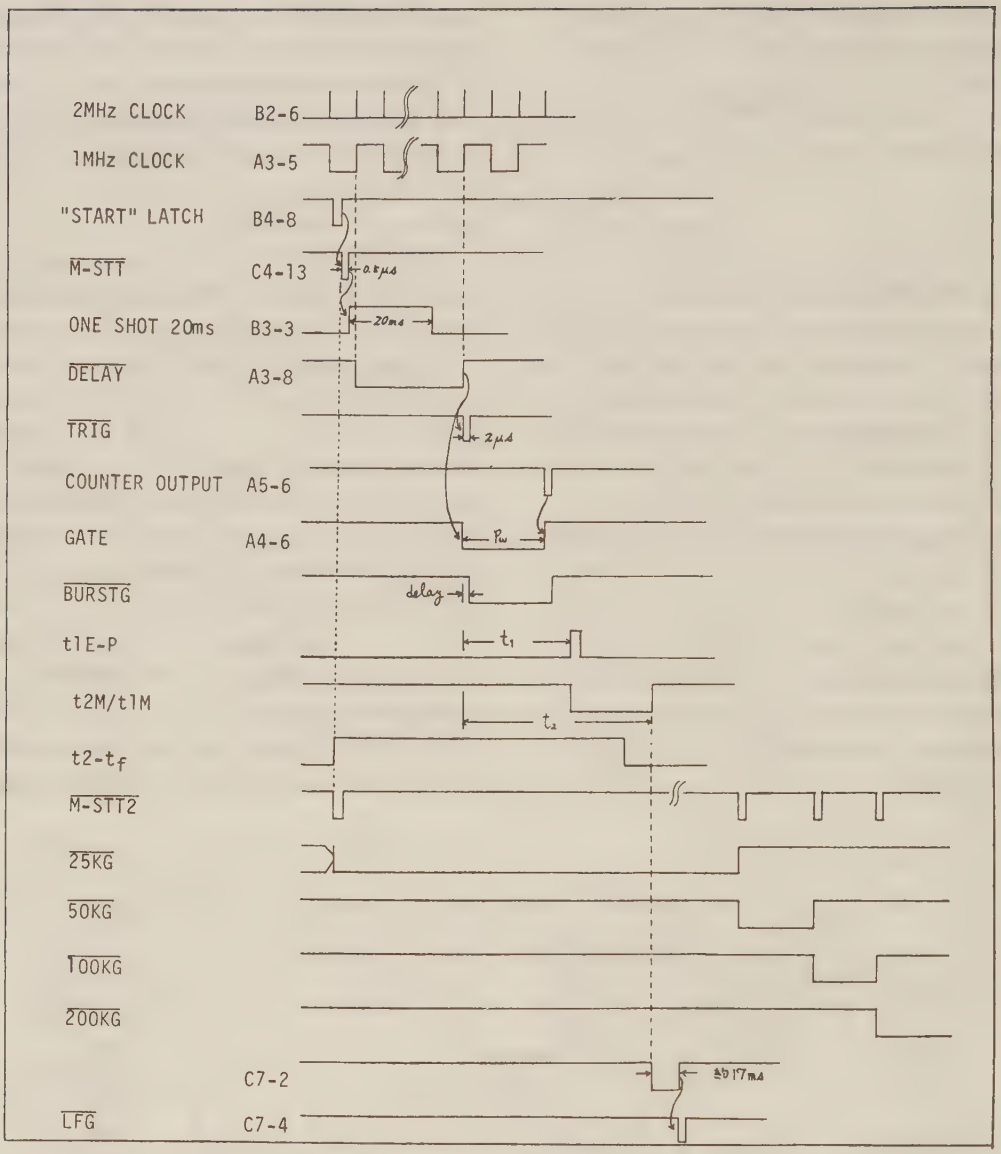


図 4 発振部のタイミングチャート
Timing chart of the oscillator circuit

を示す。

3.2 水中超音波送受信系

送波器は，材質は PZT を使い，Q を低くそろえるため，25，50 kHz では円筒振動子を用いた反射がさ型，100，200 kHz では円板型のものを試作した。水中の Q は約 2～8 であったが，100 kHz では，立上がり時間がいくぶん長く，今後改善の予定である。

超音波の受信側は，1つの受波器で多周波を受信できるように，広帯域のハイドロホンとプリアンプを使う。今回，用いたブリュエル・ケアー社製の8103型ハイドロホンの受波感度の周波数特性は，200 kHz で平担部に較べて 10 dB 落ちる。形状は，長さ 50 mm，直径 9.5 mm の円筒型で，小型である為，ほぼ無指向性であり[1]，送波器と反射体の間に，ハイドロホンを設置しても影響が少なく，かつ操作しやすい。又，プリアンプはブリュエル・ケアー社製2635型と2650型を用いたが，これらの周波数特性は，200 kHz で平担部に較べて約 3 dB 落ちる

表 1 送 波 音 圧
Transmitted acoustic pressure

周 波 数 FREQUENCY	パワーアンプへの入力電圧 INPUT VOLTAGE	パワーアンプ出力電圧 OUTPUT VOLTAGE	送波器のケーブルを含んだ容量 CAPACITANCE	送波器のインピーダンス IMPEADANCE	送 波 感 度 TRANSMITTING-SENSITIVITY 0dB re 1 μ Pascal /V at 1m	送 波 音 圧 TRANSMITTED ACOUSTIC PRESSURE 0dB re 1μPascal at 1m
25 kHz	3 Vpp	60 Vpp	16,800 pF	140 Ω	143.0 db	169.5 dB
50 kHz	3 Vpp	60 Vpp	19,690 pF	152 Ω	148.7 dB	175.2 dB
100 kHz	3 Vpp	60 Vpp	2,430 pF	505 Ω	142.4 dB	168.9 dB
200 kHz	2 Vpp	40 Vpp	3,500 pF	305 Ω	144.8 dB	167.8 dB

特性である。

3.3 バンドパスフィルタ (B.P.F.)

前項の超音波受信部は広帯域であるため，海中騒音やプリアンプのノイズによって SN 比が悪くなる傾向がある。この 4 チャネル・バンドパスフィルタは，SN 比をよくするために各周波数ごとに，プログラマブル・アンプの前に設けた。送波器の低 Q 化に逆行しないように Q をいずれも 2 とした。3dB ダウンの帯域幅は以下の通りである。

帯域幅 BAND WIDTH	中心周波数 CENTER FREQUENCY			
	25 kHz	50 kHz	100 kHz	200 kHz
△f (kHz)	13.7	25.0	51.0	103.0

3.4 反射波用ゲイン・プログラマブル・アンプ

同時法においては，1 発の超音波の発射ごとに，直接波と反射波のレベルをそれぞれ高速 A/D 変換する必要がある。しかし，直接波と反射波のレベル比は最大 500 対 1 ほど迄を測定対象としたいので，そのまま包絡線回路と A/D 変換器に入力したのでは出力データの精度が悪い。そこで，反射波のみをおおよそ直接波のレベル迄増幅して，測定系のダイナミックレンヂをひろげた。増幅度は，オシロスコープで観測しながら，24，36，48，60 dB のいずれかをマニュアルで選ぶ。この選択値は，二次システムでは CPU へ転送できる。

3.5 アナログ信号処理部

包絡線回路は，高速・広帯域のオペアンプを使った半波整流回路に，L.P.F. を後置した。この信号をサンプル・ホールド回路へ入力し，A/D 変換する。A/D コンバータ部の変換出力は 3 桁 BCD で変換速度は 25 μs である。回路図は FP 1 である。

3.6 GP-IB インターフェイス

インターフェイスの保有している機能は規格[4] の表現法によれば，次の通りである。

SH1, AH1, T5, TE5, L4, LE0, SR1, RL0, PP0, DC1, DT1, C0

データ転送方法はデータ名を 1 文字の記号で表わす。その記号を送りその後にデータを送る。データの種類と転送順序を表2. に示す。

アドレス設定はトーカ・アドレスとリスナ・アドレス同一で18（10進）とした。RP1 の回路方式では ADD1 を“L”入力で使う。出力信号には二種類あり，二次アドレスを用いて区別した。

前面パネルのスイッチの設定値を送る時：00（二進）

測定データを送る時：01（二進）

以下，機能別にそのハードウェアについて述べる。

3.6.1 アクセプタ・ハンドシェイク機能

コンピュータから受けとる入力信号には，

a) 搬送周波数
b) 送信回数
c) 測定開始
d) 周期

がある。これらのデータの受け取りに 3 線式ハンドシェイクを行なう。そのタイミング・チャートを図 5 に示す。関連する回路図は RP1，RP4 である。

表 2 データ転送フォーマット
DATA FORMAT

ORDER			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
FORMAT	LISTENER	MODE	T	N1	F	N2	N	N3	CR	LF								
	TALKER	MODE	SP	T	N4	N5	t	N6	N7	W	N8	N9	G	N10	A	N11	CR	LF
		DATA	SP	D	SP	N12	N13	N14	SP	SP	SP	R	SP	N15	N16	N17	CR	LF

SP SPACE (20)
CR CARRIAGE RETURN (0D)
LF LINE FEED (0A)

a) LISTNER (MODE)

T→PERIOD F→CARRIER FREQUENCY N→NUMBER OF TRANSMISSION

VALUE	UNIT	0	1	2	4	5	6	7	8	9
PERIOD N 1	sec	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
CARRIER FREQUENCY N 2	kHz	25～200	25	50	100	200	EXT			
TRANSMISSION TIMES N 3	TIME	1	10	100	1000					

b) TALKER (MODE)

T→t1 t→t2 W→PULSE WIDTH G→PROGRAMMABLE GAIN (dB)

A→A/D TRIGGER N4. N5 ms N6. N7 ms N8. N9 ms

VALUE	0	1	2	3	4
GAIN N10	0 dB	24 dB	36 dB	48 dB	60 dB
A/D TRIGGER N11	t1+t2	25 μs			

c) TALKER (DATA)

D→DIRECT WAVE R→REFLECTED WAVE

	N12	N13	N14	N15	N16	N17
UNIT	10^2	10^1	10^0	10^2	10^1	10^0

コントローラが ATN (Attention) LINE "L"のコマンド・モードで P. M. T. をリスナ指定すると，RP1 のインターフェイス LSI SM8530B は LSN (Listener) を"H"にする。ATN LINE がデータ・モードになる時に ATNCE-P を発生させる。RP4の IC 番号 B3 の1ピン入力 ($\overline{\text{ATN-CE-P}} \cdot \text{LSN}$) で $\overline{\text{HS-ENB}}$ (Handshake Enable) を立ち下げハンドシェイクを開始する。RP4 の GP-IB ENB ラッチは，1コマンドに対する $\overline{\text{HS-ENB}}$ のセット・リセットを行ない，HS-ENB ラッチは，1バイトごとの $\overline{\text{HS-ENB}}$ のセット・リセットを受け持つ。1バイトのハンドシェイクが終ったあと次のバイトのハンドシェイクの開始は BSY*(Busy) が "H" に戻った時セットする。しかし，最終バイトの "LF" を受け取った時は DILF (Data Input of Line Feed) がセットされているので，BSY* が "H" に戻っても $\overline{\text{HS-ENB}}$ は立ち下がらず，ハンドシェークは終了する。

送られてくるデータをラッチするためのクロックは DICLK (Data Input Clock) による。入力信号を N, F, T の文字で区別しているので，それらの順序や組み合わせは任意である。この動作を回路図 RP3 について述べる。N, F, T のアスキーコードを表3に示す。(D6, D5) = (1, 0) の時は，この3文字であるから，A4 でデータラッチして，B5 のデマルチプレクサにより，FLCK, NLCK, TLCK を別々に出力する。これらの信号は，DICLK と同期させて使われ，(D6, D5, D4) = (0, 1, 1) と数字が送られて来た時に，そのラッチ用クロックとして使う。B5 の入力ピンの選択は，T, F, N の D2 がともに"1"なのでそれを G1 入力とし，D0 は

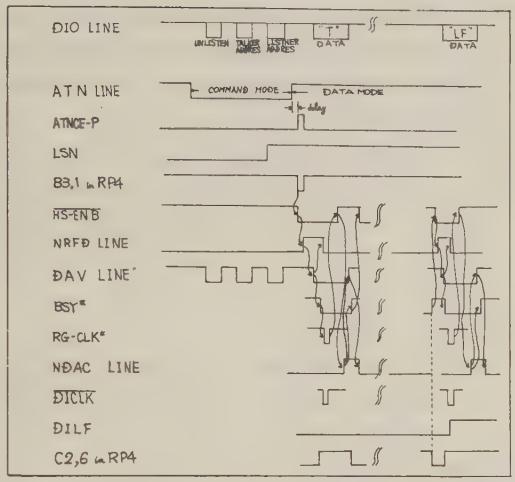


図 5　アクセプタ・ハンドシェイクのタイミングチャート

Timing chart of the acceptor handshake

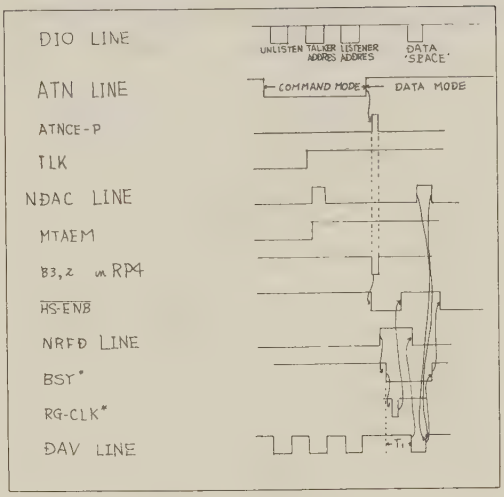


図 6　測定値のソースハンドシェイクのタイミングチャート

Timing chart of the source handshake of data outputs

表 3　アスキーコードの例

Examples of ASCII code

				D7	0	0	0	0
				D6	0	0	1	1
				D5	0	1	0	0
				D4	0	1	0	1
D3	D2	D1	D0					
0	0	0	0			0		
0	1	0	0					T
0	1	1	0			≀	F	
1	0	0	1			9		
1	0	1	0		LF			
1	1	0	0				L	
1	1	0	1		CR			
1	1	1	0				N	

ともに“0”なので G2A へ入力した。他は下位ビットから A, B, C 入力とした。

デリミタとしては，CR+LF が付加されてきても，リスン動作では LF だけを使う。これによってデータの終わりを判断し，ハンドシェイク終了を SM8530B に知らせると伴に，入力のラッチをクリアする。

3.6.2　ソース・ハンドシェイク機能

コントローラによって，P.M.T. が二次アドレス(01)のトーカとして指定されると，MTAED(My Talk Address Enable Data) がオンになり，ATNCE-P によって，$\overline{\text{STT}}$ (Start) が発生する。これにより超音波の送受信と A/D 変換を始める。RP4 の NAND (A3) 回路への t_2M/t_1M 入力によって，t_2 での A/D 変換が終了後，MEND-P (Memory End Pulse) が出たのを合図に，ディジタル値をリスナへ転送するためのハンドシェイクが始まる。図 6 にそのタイミングチャートを示す。

GP-IB ENB ラッチがセットされ，$\overline{\text{HS-ENB}}$ が立ち下がって，リスナが「データ受取準備完了」として NRFD (Not Ready for Data) LINE を立ち上げると SM8530B は BSY* を立ち下げるとともに，RG-CLK* (Register Clock) を 1 発出力する。

NRFD LINE が“H”なので DIO (Data Input Output) LINE のデータを確定させて，DAV (Data Valid) LINE を“L”にすると，リスナは NRFD LINE を“L”に戻して，「データ受取完了」を示すため NDAC (Not Data Accepted) LINE を“H”にする。これを受けて，トーカは DAV LINE を“H”に戻すとともに，BSY*を“H”にする。バイトごとのハンドシェイクの繰り返しは，アクセプタ・ハンドシェイクと同様に BSY* の “H” 復帰による。そして “LF”を転送し終わると，$\overline{\text{LFG}}$ によって，GP-IB ENB ラッチをリセットし，一連のハンドシェイクを終了させる。

二次アドレスに (00) が指定された場合は，パルス幅，t_1, t_2, プログラマブル・アンプの増幅度，A/D トリガモードの各設定値が出力される。ATN LINE がデータモードになるとハンドシェイクが開始される。図 7 にそのタイミングチャートを示す。

二次アドレスによる転送モードの区別は，回路図 RP1

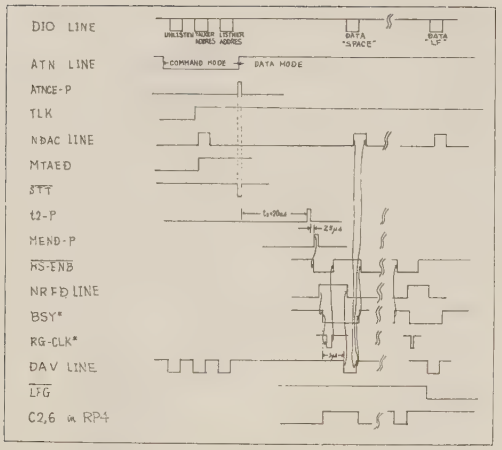


図 7 パネル設定値のソースハンドシェイクのタイミングチャート

Timing chart of the source handshake of mode outputs

の ADDRESS ENCODER 部による。コントローラが発信する二次アドレスのフォーマットは次の通りである。

DI6	DI5	DI4	DI3	DI2	DI1	DI0
1	1	B_4	B_3	B_2	B_1	B_0

B_4, B_3, B_2, B_1, は0として使い，(DI6, DI5) = (1, 1) の時二次アドレスであり，B_0=1 ならデータ転送の MTAED をセットし，B_0=0 なら，モード転送の MTAEM (My Talk Address Enable Mode) をセットする。これらの信号は他の装置にトーカ指定が移るか，P.M.T. がリスナ指定された時にリセットされる。

ローカル動作では，「開始」スイッチのオンにより，MTAED のみが発生する。

トーカが送り出す出力信号は，あらかじめ回路図 RP2 にあるスリーステート・バッファを用意しておいて，決められた順序にそれらのゲートを開いて DIO LINE にのせる。

表2にある様に，周期，搬送周波数，送信回数，ゲイン，トリガ方式は，各設定値を0～9におきかえて送り出す。又，データ転送フォーマットの「R」の項は周波数ごとに文字をかえた。

25 kHz の時 W
50 kHz の時]
100 kHz の時 [
200 kHz の時 ∧

これらの下位4ビットは回路図 RP16 の B4-2 で変え，上位4ビットは RP2 の C3-2 で与えた。

ゲートは回路図 RP6 のカウンタ (A6) とデマルチプレクサ (B-C6) によって BSY* の立ち下がりごとに切り換えられる。このカウンタは，ATN LINE がコマンドの時と，二回の A/D 変換中にリセットする。

送出する数字のうち，転送順序 4, 6, 12, 14 番目は転送モードによらず数字だが，5, 13番目はモードによって切り換える。測定データを送る時は B4 の12，13ピン入力を使う。

3.6.3 サービスリクエスト

A/D 変換器への入力範囲は 0～+5 VDC なので，これをオーバすると，コンピュータへこのことを知らせて，ゲインの再設定等の処置が出来るようにした。

包絡線回路の LPF 出力が 5V 以上の時，オーバレンヂ用 LED が点灯する。更に，サンプルホールドして A/D 変換した値がオーバレンヂだった場合，P.M.T. はサービスリクエスト (SRQ) 信号をコントローラへ発して，割り込みをかける。これを受けて，コントローラは発信源をさがしにかかるが，そのためにシリアルポールという方法を用いる。

図8にそのタイミングチャートを示し，回路図 RP4

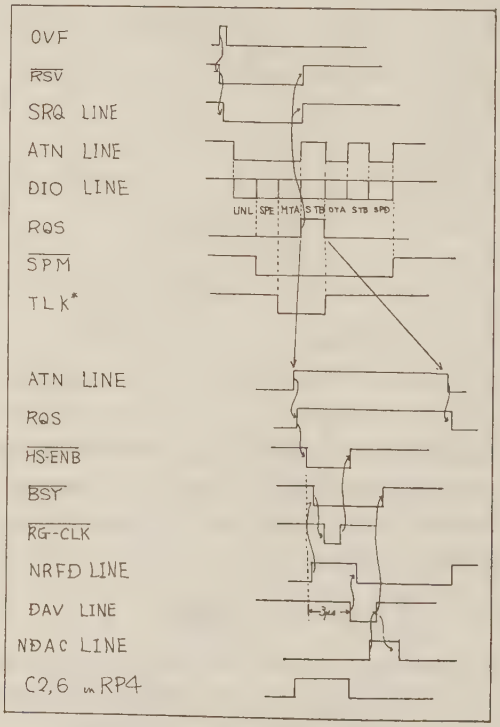


図 8. シリアルポールのタイミングチャート

Timing chart of serial poll

によって説明する。

D-OVF 又は R-OVF によって OVF が立ち，RSV が SM8530B へ入力されると，SRQ (Service Request) LINE を“L”にする。これを受けて，コントローラは各トーカのステータスバイトを読み込んで割り込み原因を調べる。ステータスデータを次に示す。

DIO 8	DIO 7	DIO 6	DIO 5	DIO 4	DIO 3	DIO 2	DIO 1
	SRQ					R-OVF	D-OVF

例えば，直接波がオーバした時，DIO7，DIO1 が“1”にセットされ，その他のビットは“0”である。

ステータスバイトのハンドシェイクは，ATN LINE がデータモードになって SM8530B から発せられる RQS によって開始される。回路図 RP4 の C2 の1ピン入力は，ソース・アクセプタハンドシェイクに加えてシリアルポールでのハンドシェイク機能を加えるためのものである。そして C2 の12ピン入力によって，1バイトだけのハンドシェイクにしている。

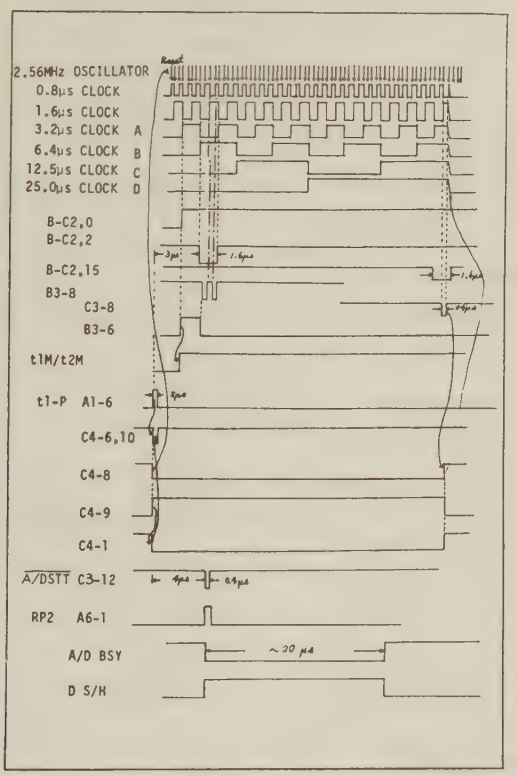


図 9　A/D変換のタイミングチャート
Timing chart of A/D conversion

RQS は RP2 の C5 の割込ステータスのセットと RSV のリセットにも使う。B6 の 9，10ピン入力は，オーバーフローのあと，次のサンプリングデータも，オーバーフローの記号を印字するのを防ぐのに必要である。

トーク/リスン・オンリでは RSV を発しないようにした。

リモートでは，トーカ指定されたあと，A/D 変換開始信号のタイミングで RSV をセットするかどうかが決まるのに対して，測定データ転送のハンドシェークは A/D 変換が終ったあと (MEND-P) に始まる。従って，オーバレンジした時は，シリアルポールが終ったあとに，オーバレンジを表わす符号におきかえられた測定データがコンピュータに送られてくる。

図9は回路図 RP9 における A/D 変換のタイミングチャートを示す。

4. 検　　討

4.1 アナログ部

ターゲットストレングスや魚群減衰係数を求める式は振幅の比と拡散減衰の項からなる。このうち，振幅の比の項を，P.M.T. のディジタル出力から求める時には，プリント値に補正倍率 CD，CRR をかけて計算した。これを，図10の模式図によって説明すると，PD，PR はプリント値，dsig，rsig は P.M.T. への入力電圧，d500，r500 はプリント値 500 を印字する時の P.M.T. への入力電圧を示す。Gはプログラマブル・アンプの増幅度のつまみ設定値で，0 dB の時 G＝1，24dB で G＝16，36dB で G＝64，48dB で G＝256 とした。しかし，周波数ごとに実際の増幅度は誤差があり，プリント値 500 に対する誤差を a で表わした。

CD，CR は P.M.T. のアナログ信号入力部からプリント出力迄の入出力特性の非直線性を表わす。

図10から，

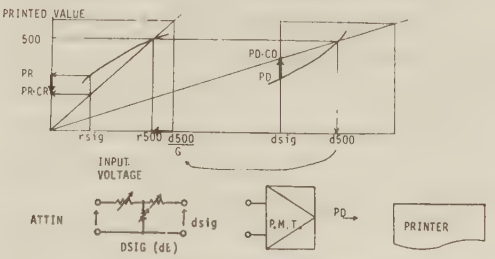


図 10　補正倍率の定義
The correction for the nonlinearity of the input–output characteristic

$$dsig : PD \cdot CD = d500 : 500 \quad \cdots\cdots(1)$$

$$rsig : RR \cdot CR = r500 : 500 \quad \cdots\cdots(2)$$

$$r500 = \frac{d500}{G \cdot a} \quad \cdots\cdots(3)$$

$$\therefore \quad \frac{rsig}{dsig} = \frac{PR \cdot CR}{PD \cdot CD \cdot G \cdot a} \quad \cdots\cdots(4)$$

ここで，CR/a を CRR とおくと，

$$\frac{rsig}{dsig} = \frac{PR \cdot CRR}{PD \cdot CD} \cdot \frac{1}{G} \quad \cdots\cdots(5)$$

各周波数，各増幅度ごとに，P. M. T. の入出力特性を求めた。入力電圧（ATTIN）を 1.5 dB 又は 3 dB ごとにアッテネータで変化させてそれに対するプリント値を求める。このデータに内挿法を適用し，測定した最小プリント値から 999 迄の全プリント値に対する補正倍率を求めた。図11に結果の一例を示した。又，CD，CRR が 0.97～1.05 以内のプリント値の範囲を表4に示した。

次に，超音波送受信系を含めて SN 比を検討する。表5は海中ノイズと送波パルスとのレベル差を周波数ごと示したものである。海中ノイズの帯域幅は，3.3 項に示した P. M. T. のバンドパスフィルタの値を用いた。反射波の拡散損失は，送波器と魚体との距離 5 m，ハイドロホンと魚体との距離 2 m の場合である。この場合海中ノイズと拡散損失の和と，送波音圧との差は，信号がノイズと同レベルになる魚体の後方散乱損失である。ほぼ 60 dB 前後のレンヂである。又，直接波の拡散損失を 10 dB として計算すると，最大の魚体損失を測ろうと

表 4 プリント値のダイナミックレンヂ

The dynamic range of printed output

GAIN	0 dB		24 dB		36 dB	
FREQUENCY	lower limit	upper limit	lower limit	upper limit	lower limit	upper limit
25 kHz	54～999		58～999		57～999	
50 kHz	51～999		48～999		84～999	
100 kHz	81～999		51～999		68～999	
200 kHz	46～999		156～999		137～999	

0.97＜CD, CRR＜1.05

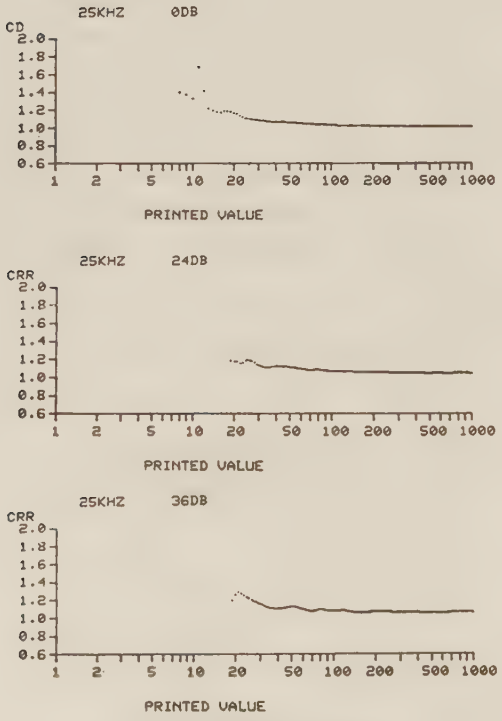


図 11 補正倍率の測定例

The Coefficient of the correction

表 5 海中ノイズと反射波とのレベル差

The level diffrence between a reflected pulse and sea noise

FREQUENCY	25 kHz	50 kHz	100 kHz	200 kHz
SEA NŌISE SPECTRUM LEVEL MAX.[6] 0dB re 1μPascal/√Hz	54 dB	46 dB	42 dB	35 dB
SEA NŌISE IN THE MEASURERING BAND 0 bB rel μ Pascal	95 dB	90 dB	89 dB	85 dB
TRANSMISSIŌN LŌSS ŌF REFLECTED PULSE	20 dB			
TRAN 175SMITTED SŌUND PRESSURE 0 dB re 1 μ Pascal/m	169 dB	175 dB	169 dB	168 dB
MEASURABLE FISH BACKSCATTERING LŌSS	54 dB	65 dB	60 dB	63 dB
TRANSMISSIŌN LŌSS ŌF DIRECT PULSE	10 dB			
THE LEVEL DIFFERENCE BETWEEN A DIRECT PULSE AND A REFLECTED PULSE	64 dB	75 dB	70 dB	73 dB

する場合，直接波と反射波のレベル差は約70 dB前後である。この場合P. M. T. のプログラマブル・アンプのゲインを60 dBで測定すると，プリント値のダイナミックレンヂが20 dBあれば測定対象をカバーできる。しかし，増幅度をあげるに従い，プリアンプのノイズとP. M. Tの非直線性が顕著になり，10 dB程度のマージンが必要なのでダイナミックレンヂがもっと制限される。今後，P. M. T. の非直線性の改善が課題として残された。

4.2 測定方法

図12に各測定のフローチャートを示す。

同時法による魚体反射率の測定に於て「t_1, t_2 の設定」の所では，多現象オシロスコープにDCH. のL. P. F. 出力，RCH. のL. P. F. 出力，T_1+T_2 タイミングの3信号を発振トリガの立ち下がりで同期をとって表示する。そして，受信パルスの平担な所をサンプルできるように，増幅度や位置関係について調整を行ない，t_1，t_2 を設定する。

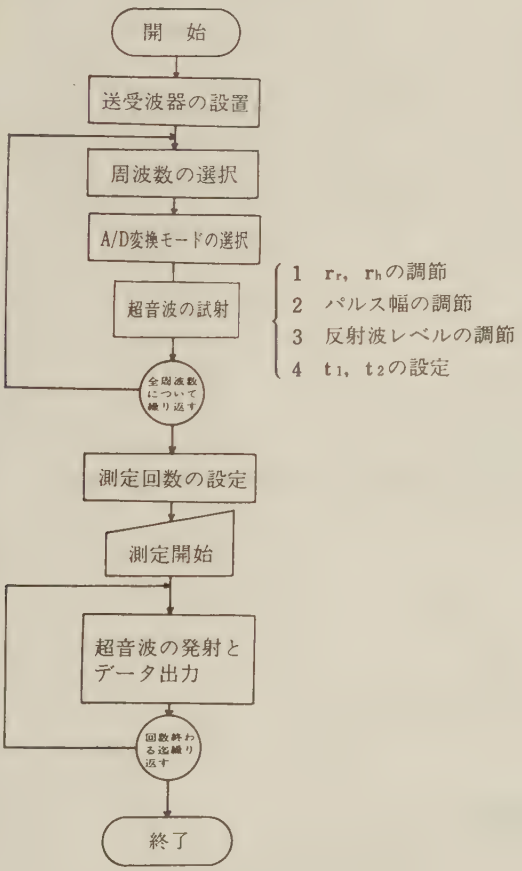


図 12　測定のフローチャート
Flow chart of the measurments

ローカル動作では，プリンタの動作が遅いため，周期は0.7秒以上使う。しかし，t_1，t_2 設定の為の試射の時には，オシロスコープの管面がちらつかないように0.1秒で行ない，この時だけハンドシェークを行なわないように設計した。

魚群減衰測定に於ては，直接波に対する透過波のレベル差は大きくない。その差も，それぞれの音圧計の段階でレベル調整できるので，反射波専用アンプは通さない。反射波専用アンプの増幅度つまみを0 dBに選ぶと，A/D 変換器へは常にDCH. を通ったサンプリングデータが入力される。P. M. T. にはサンプリングされたデータの記録器用アナログ出力があり，これによって，魚群形状の時間変化に対応した魚群減衰量を目視できる。

次に，リモート動作でのCPUからのコマンド例を図13に示す。CPUにはヒューレット・パッカード社のC 35 システムを用いた。

周波数は25～200 kHz の連続測定で，発射回数だけFOR-NXET ループでまわした。行番号160はファンクション・コードの送出サブルーチンである。行番号210はASC II データの受け取りコマンドであるが，このコマンドにより超音波の発射とA/D 変換が行なわれる。行番号380～450はサービス・リクエストに対するプログラムである。行番号410はP. M. T. のステータスバイトの第7ビットを取り出す。

行番号260～320はパネルの設定値を受け取る。行番号270のセレクトコードシーケンス718.004については，二次アドレスが00の場合にはターミネータ4をつけなければならない。

おわりに

今回試作した装置は，A/D 変換器により自動読み取りができるので，魚体への入射角度によるターゲット・ストレングスの変化を測定したり，魚群減衰量のように時間変化の激しいデータを測定するには，オシロスコープによる目測に較べて信頼性を向上できる。又，これらの測定は多数サンプルの平均処理が必要であるが，GP-IB を採用しているのでCPUへのデータ転送により容易になる。又，ローカル動作かリモート動作かを選ぶことにより，簡易システムから，C. P. U. も運び込んだトータルシステム迄，海上での作業環境に応じて使い分けることができる。

P. M. T. は測定対象の周波数特性をつかむ為，25～200 kHz 迄のアナログ処理の帯域を持つ。しかし，このことは，SN 比を減少させたり，直線性を悪化させる傾

```
10   DIM Printdata(1,3)
20 Measure:  CALL Multi_beep(10)
30   INPUT "TIMES OF TRANSMISSION ?",N
40   GOSUB Panel
50   FOR I=1 TO N
60       GOSUB Mode
70             CONTROL MASK 7;"10000000"  !INTERRUPT ENABLE
80             ON INT #7 GOSUB Srq
90             CARD ENABLE 7
100      GOSUB Data_d_r
110      GOSUB D_r_print
120  NEXT I
130 Owari:  DISP ,"OWARI !"
140  END
150  !
160 Mode:  CALL Multi_beep(5)
170     Device=18                          ! ADDRESS 18   P.M.T.
180     OUTPUT 7,Device;"T1"&"F0"&"N0"
190  RETURN
200  !
210 Datadr: CALL Multi_beep(3)
220     ENTER 718.01 USING "F";Printdata(*)
230     ABORTIO 7
240  RETURN
250  !
260 Panel:  CALL Multi_beep(1)
270     ENTER 718.004 USING "F";T1,T2,W,Gain,Adc
280         T1=T1/10
290         T2=T2/10
300         W=W/10
310     PRINT "t1=";T1;"t2=";T2;"W=";W;"GAIN=";Gain;"ADC=";Adc
320  RETURN
330  !
340 Drprint: CALL Multi_beep(5)
350     PRINT Printdata(*)
360 RETURN
370  !
380 Srq:  CALL Multi_beep(15)
390       Srq_status=0
400       CONFIGURE 7 TALK = 18.004
410       STATUS 7,Device;Srq_status
420          PRINT "SRQ WITH";Device;"  SRQ_STATUS=";Srq_status
430          CALL Multi_beep(1)
440          CARD ENABLE 7
450  RETURN
460  !
470  !
480  SUB Multi_beep(M)
490      FOR Ibeep=1 TO 1000
500          BEEP
510          WAIT 200
520      NEXT Ibeep
530  SUBEND
```

図 13　4周波連続測定のプログラム

Program of the four frequency meaurement

向があり，今後，いかにダイナミックレンジを広げることができるか検討課題として残った。

尚，本研究はクイックアセスメント支援研究の一環として行った。又，入出力特性の非直線性の計算には，農林水産研究計算センターを利用し，UMS プログラムを用いた。

参考文献

1) 宮野鼻洋一・石井憲・古沢昌彦：魚体反射率測定における同時較正法，水産工学研究報告，第3号，pp. 187—193，1982

2) 宮野鼻洋一・石井憲・古沢昌彦：魚体の背方向ターゲットストレングスの測定例，水産工学研究技報 漁船工学，第4号，pp. 95--105，1983

3) 石井憲・古沢昌彦・宮野鼻洋一：魚群減衰係数の測定，水産工学研究技報 漁船工学，第4号，pp. 73—94，1983

4) 岡村廸夫：IEEE-488 標準ディジタル・バスとその応用，インターフェース，2月号，1979

5) 実吉純一ほか：超音波技術便覧，日刊工業新聞社，1966

The Design of a Programmable Multi-frequency Transmitter-receiver for Measurements of Target Strength of Fish and Attenuation of Sound by Schooling Fish

By

Ken Ishii, Masahiko Furusawa and Yoichi Miyanohana

Summary

The resarch on estimating fish stock by using ultrasonic devices has been performed. It requires the measurements of target strength of fish and attenuation of sound by schooling fish.

The device designed by the authors is named P.M.T. (a programmable multi-frequency transmitter-receiver).

This is useful for the simple and precise measurements of target strength by simultaneous calibration method and the direct measurement on the attenuation of sound by schooling fish using two hydrophones.

This device receives the direct wave and the reflected wave or attenuated wave and prints out their amplitudes automatically.

Carrier frequencies are selected at 25, 50, 100, and 200 kHz.

The four projectors are designed to realize a short rise time, and the frequency characteristic of the sensitivity of the hydrophones is wide.

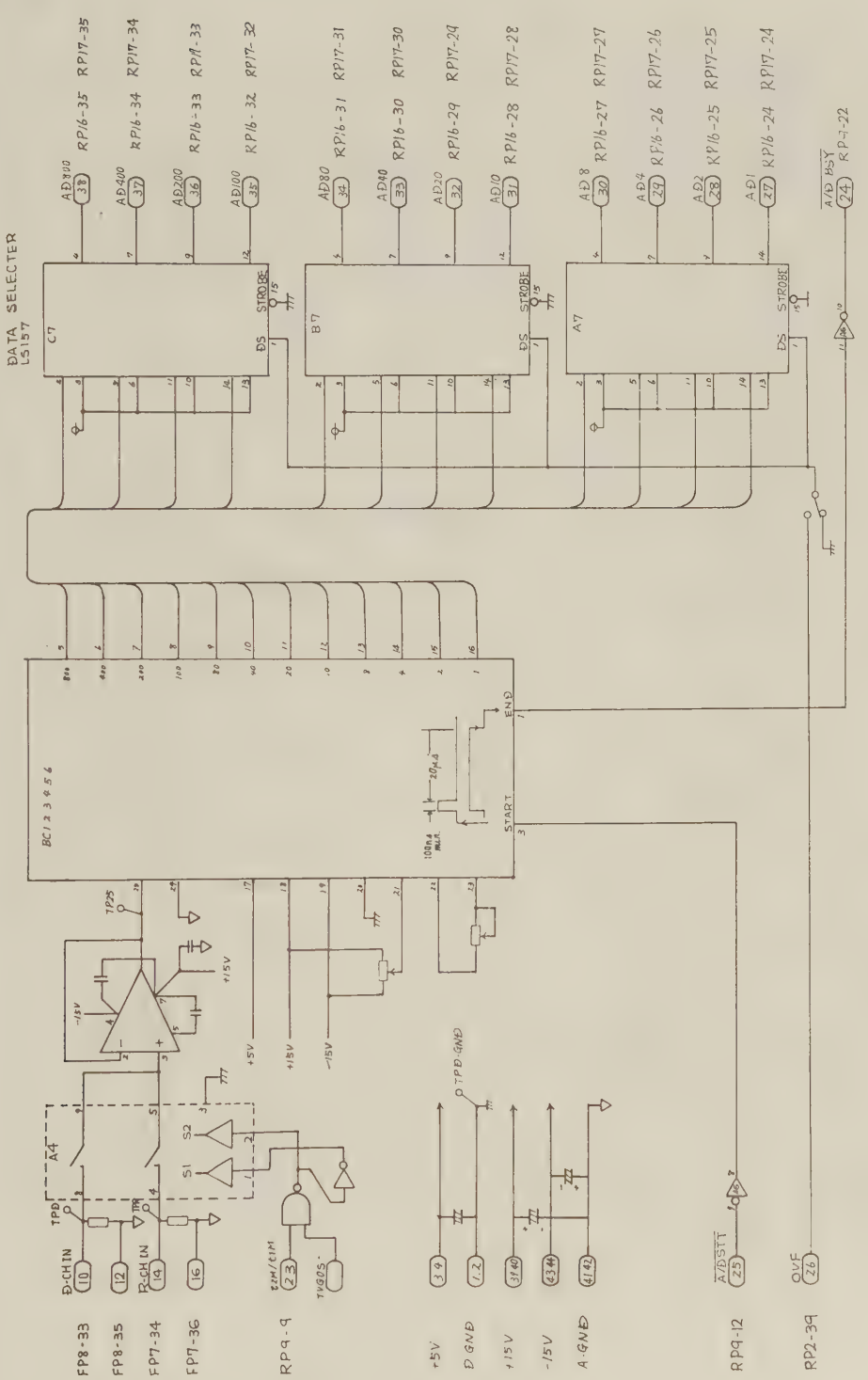
The 12dB stepped programmable amplifier expands the amplitude of the reflected wave to be nearly equal to the amplitude of the direct wave.

And these signals are put into A/D converter.

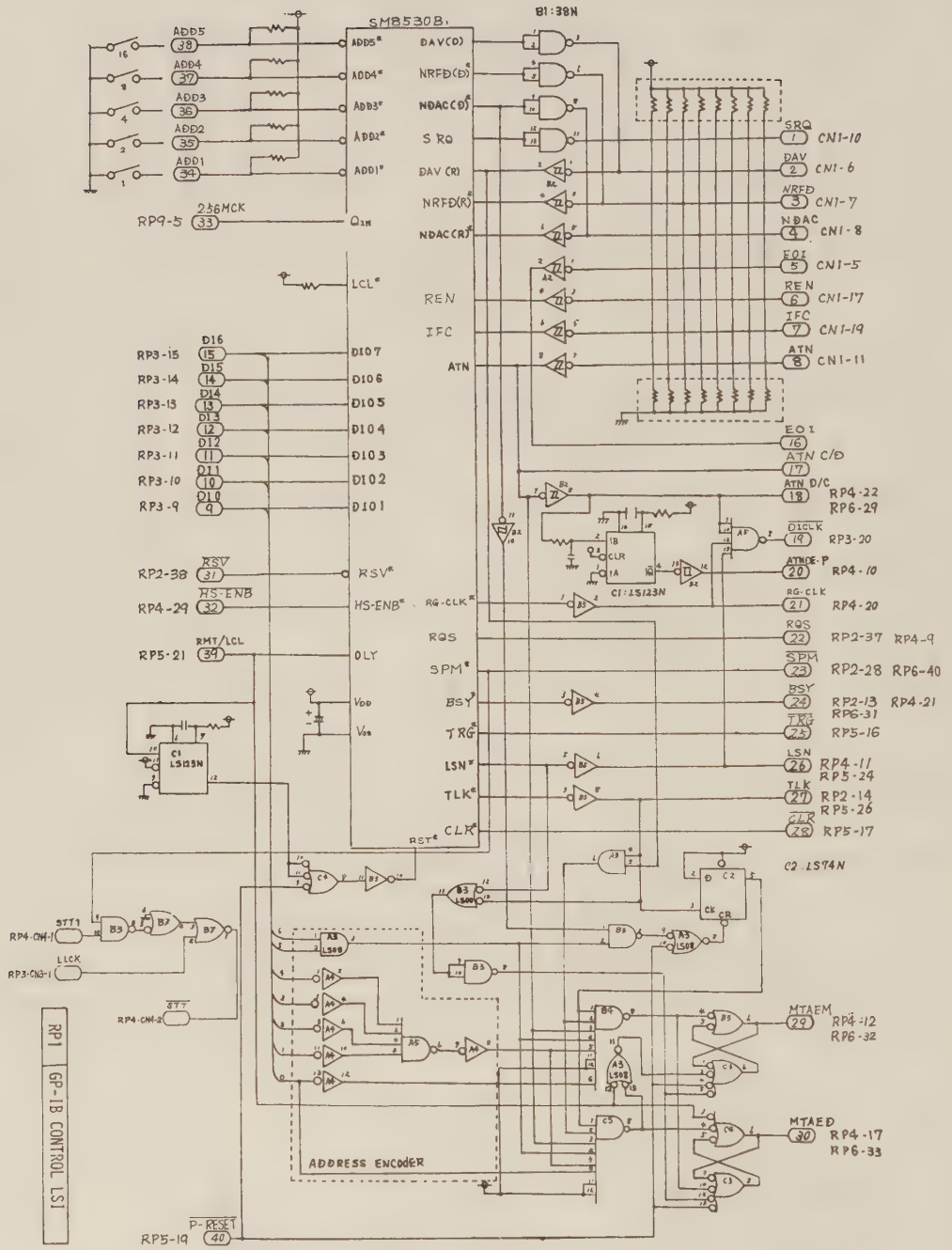
Then the installed GP-IB allowed flexible computer control of carrier frequency, period and number of transmission as well as analysis of data during the measurements.

The detail of P.M.T. is described in this paper.

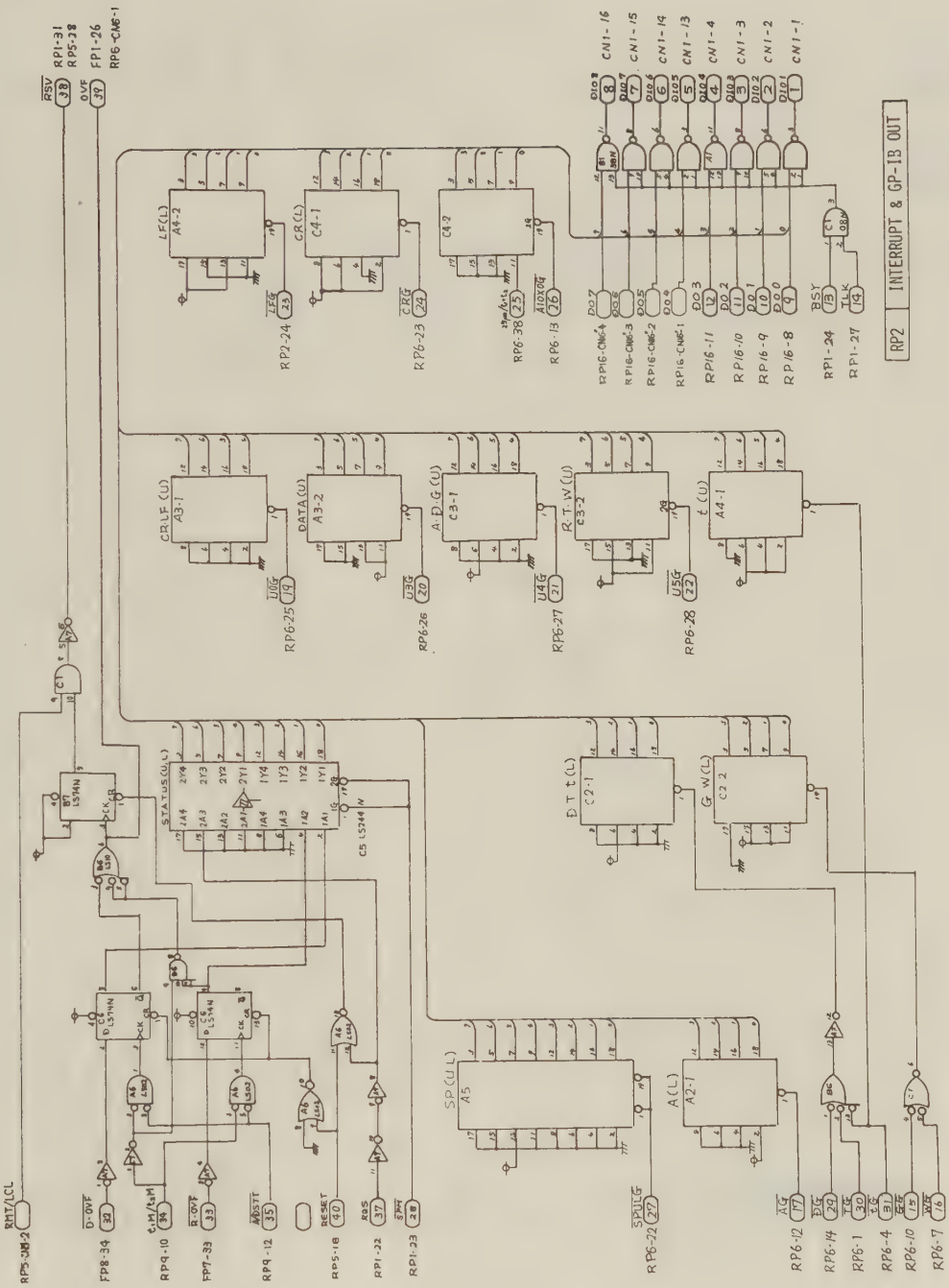
付　録


DATA SELECTER
LS157
C7
B7
A7
STROBE
DS
AD800
AD400
AD200
AD100
AD80
AD40
AD20
AD10
AD 8
AD4
AD2
AD1
A/D BSY
RP16-35
RP16-34
RP16-33
RP16-32
RP16-31
RP16-30
RP16-29
RP16-28
RP16-27
RP16-26
RP16-25
RP16-24
RP17-35
RP17-34
RP17-33
RP17-32
RP17-31
RP17-30
RP17-29
RP17-28
RP17-27
RP17-26
RP17-25
RP17-24
RP1-22
FP1 A/D CONVERTER
BCI 2 3 4 5 6
END
START
100ns min.
20μs
TP25
+15V
-15V
+5V
+15V
-15V
TPD
TPD-GND
A4
S1
S2
D-CH IN
R-CH IN
TRM/CLM
TWGOS
FP8-33
FP8-35
FP7-34
FP7-36
RP9-9
+5V
D GND
+15V
-15V
A-GND
A/DSTT
OVF
RP9-12
RP2-39

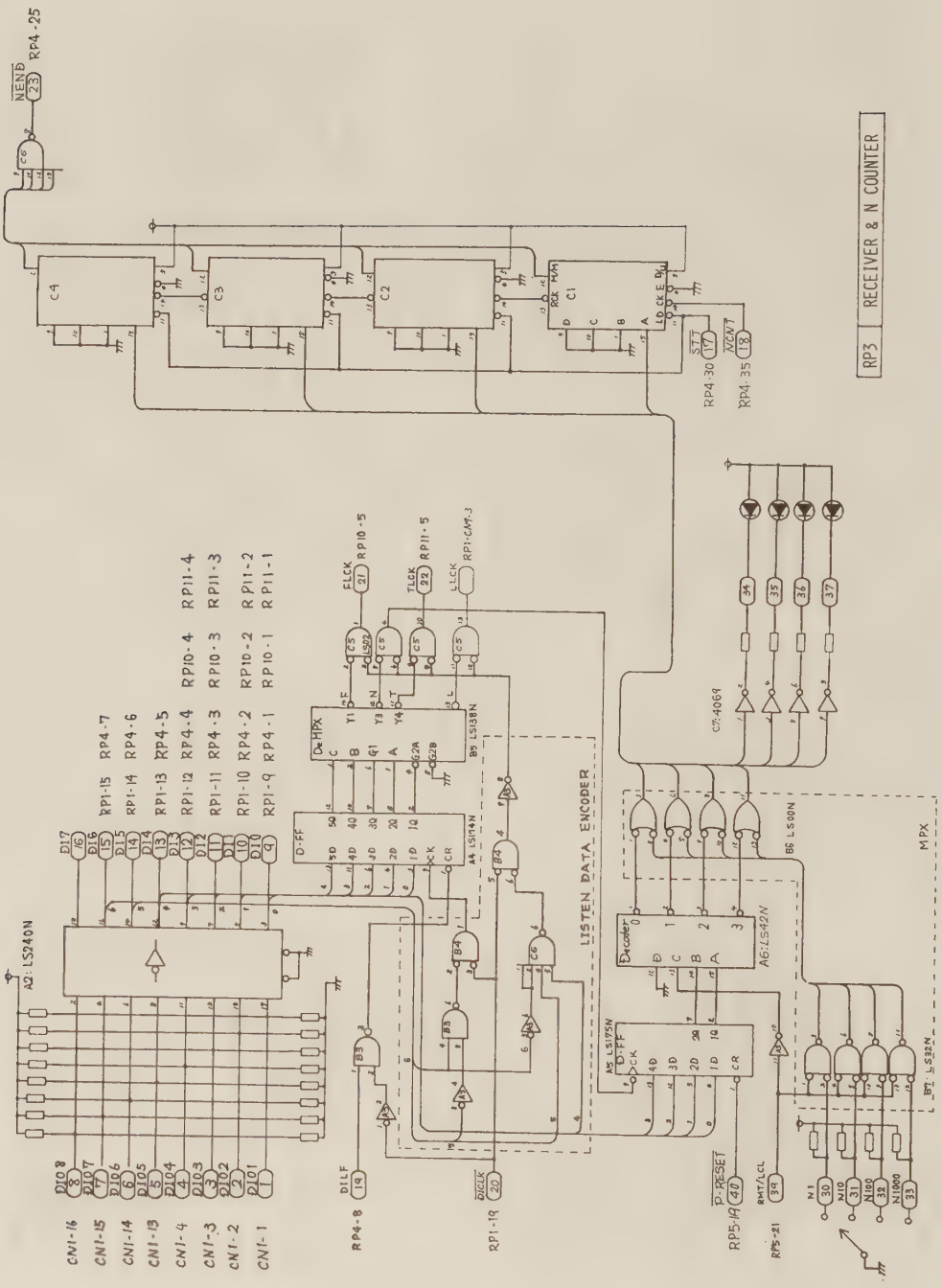
付 録


SM8530B,
81:38N
ADD5
ADD4
ADD3
ADD2
ADD1
RP9-5
256MCK
DAV(C)
NRFD(C)
NDAC(C)
SRQ
DAV(R)
NRFD(R)
NDAC(R)
REN
IFC
ATN
LCL
D16
D15
D14
D13
D12
D11
D10
RP3-15
RP3-14
RP3-13
RP3-12
RP3-11
RP3-10
RP3-9
D107
D106
D105
D104
D103
D102
D101
RSV
HS-ENB
RMT/LCL
RP2-38
RP4-29
RP5-21
RSV
HS-ENB
DLY
RQS
SPM
BSY
TRG
LSN
TLK
CLK
RST
SRQ
DAV
NRFD
NDAC
EOI
REN
IFC
ATN
ATN C/D
ATN D/C
DICLK
ATNDE-P
RG-CLK
RQS
SPM
BSY
TRG
LSN
TLK
CLR
CN1-10
CN1-6
CN1-7
CN1-8
CN1-5
CN1-17
CN1-19
CN1-11
RP4-22
RP6-29
RP3-20
RP4-10
RP4-20
RP2-37 RP4-9
RP2-28 RP6-40
RP2-13 RP4-21
RP6-31
RP5-16
RP4-11
RP5-24
RP2-14
RP5-26
RP5-17
C1:LS123N
C2:LS74N
STT1
RP4-CN4-1
LLCK
RP3-CN3-1
RP4-CN4-2
MTAEM
MTAED
RP4-12
RP6-32
RP4-17
RP6-33
ADDRESS ENCODER
GP-IB CONTROL LSI
RP1
P-RESET
RP5-19

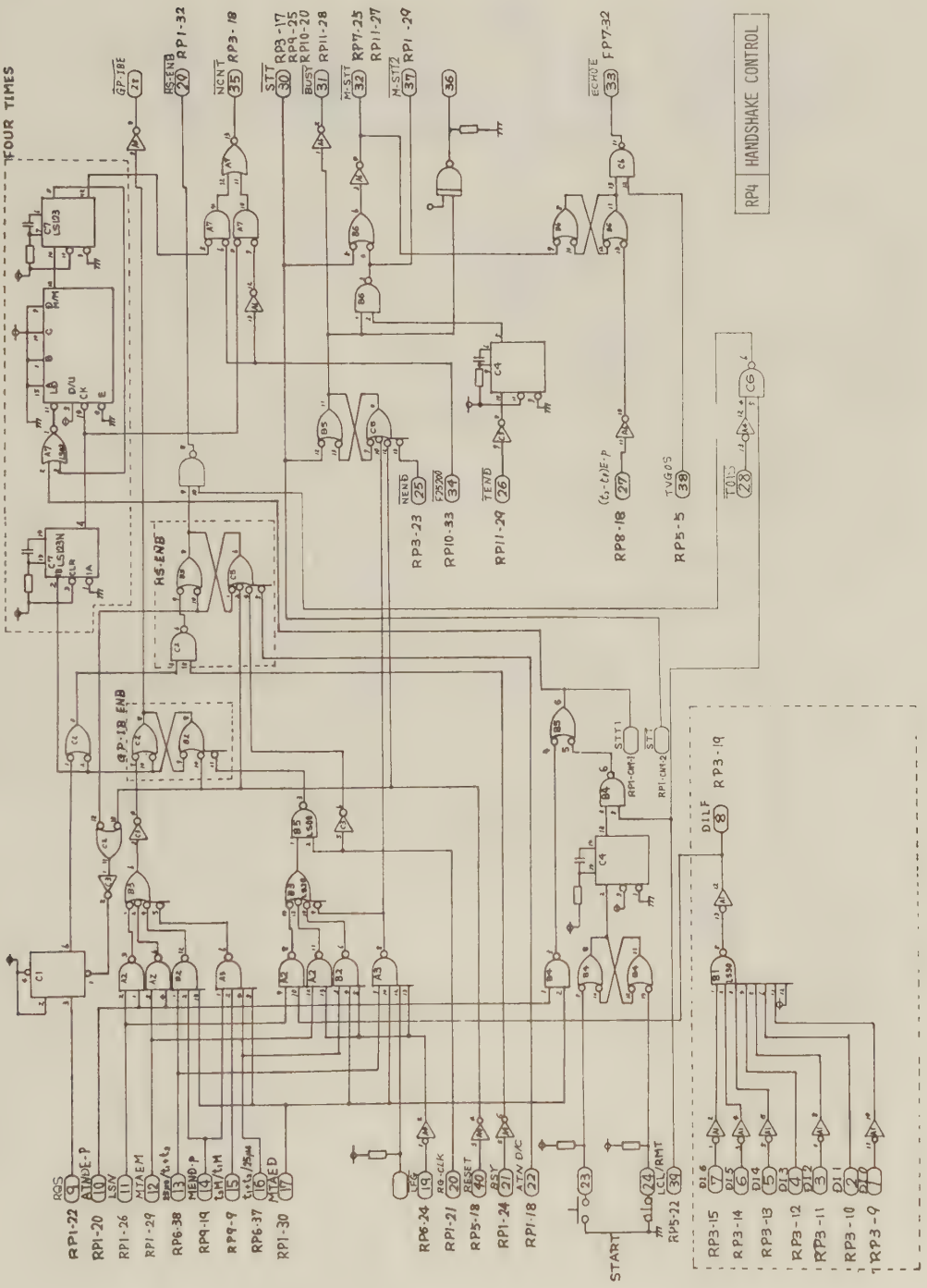
付 録


INTERRUPT & GP-IB OUT
RP2
CNT-16
CNT-15
CNT-14
CNT-13
CNT-4
CNT-3
CNT-2
CNT-1
LF(L) A4-2
CR(L) C4-1
C4-2
CR.LF(U) A3-1
DATA(U) A3-2
A.D.G(U) C3-1
R.T.W(U) C3-2
t(U) A4-1
D.T.t(L) C2-1
G.W(L) C2-2
STATUS(U,L)
SP(U,L) A5
A(L) A2-1
RHT/LCL
RSV
OVF
RP1-31
RP5-38
FP1-26
RP6-CN6-1
RP1-24
RP6-23
RP6-38
RP6-13
RP6-25
RP6-26
RP6-27
RP6-28
RP6-22
RP6-12
RP6-14
RP6-1
RP6-4
RP6-10
RP6-7
RP1-34
RP1-27
RP9-10
RP7-33
RP9-12
RP5-18
RP1-32
RP1-33
RP5-CN6-2
FP8-34
FP7-33

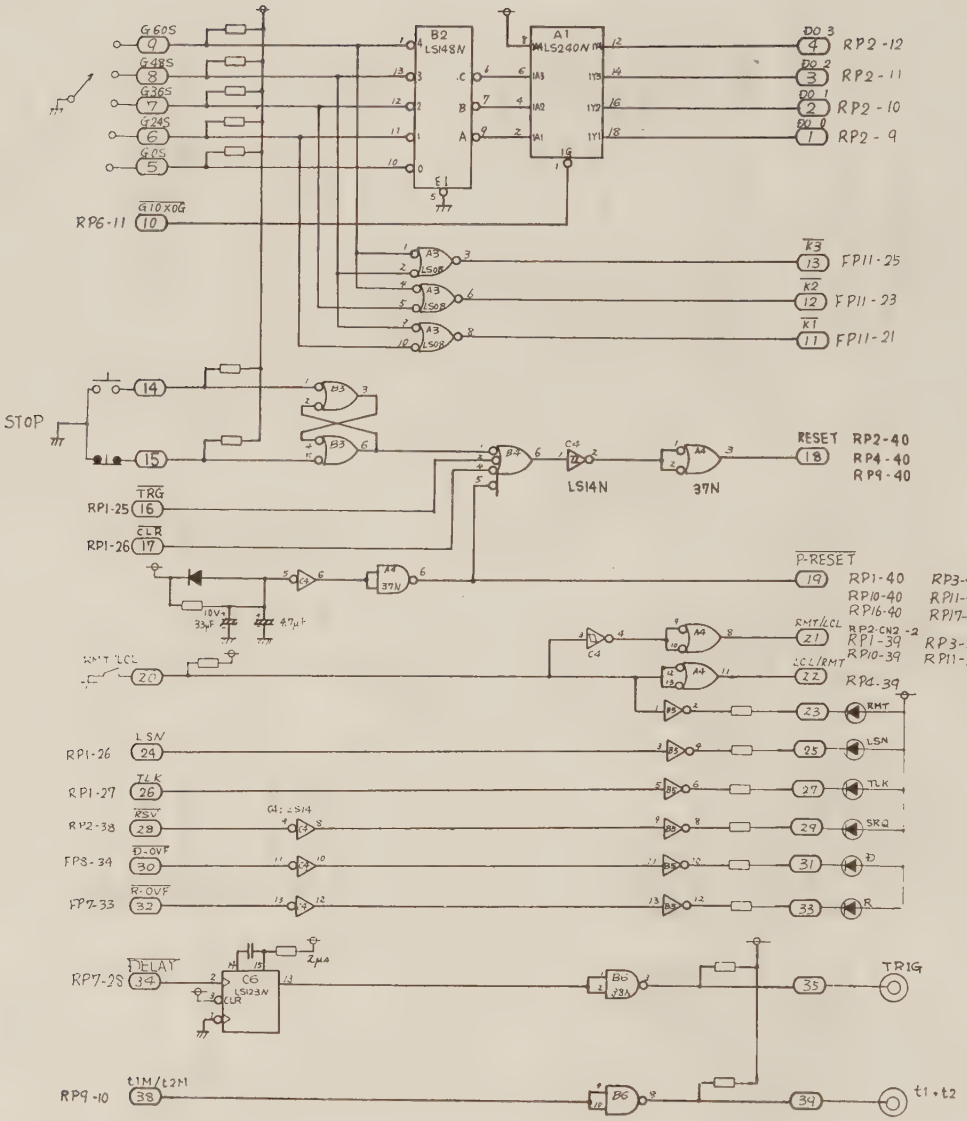
付 録


RP3 RECEIVER & N COUNTER
LISTEN DATA ENCODER
RP4-25
RP4-30
RP4-35
RP4-7
RP4-6
RP4-5
RP4-4
RP4-3
RP4-2
RP4-1
RP11-4
RP11-3
RP11-2
RP11-1
RP10-4
RP10-3
RP10-2
RP10-1
RP1-15
RP1-14
RP1-13
RP1-12
RP1-11
RP1-10
RP1-9
RP10-5
RP11-5
RP1-CNT-3
RP4-8
RP1-19
RP5-14
RP5-21
A2:LS240N
A3:LS174N
A4:LS175N
A5:LS138N
A6:LS42N
B6:LS00N
B7:LS32N
C74069
MPX
D-FF
DeMPX
Encoder
P-RESET
RMT/LCL
CN1-16
CN1-15
CN1-14
CN1-13
CN1-4
CN1-3
CN1-2
CN1-1

付 録

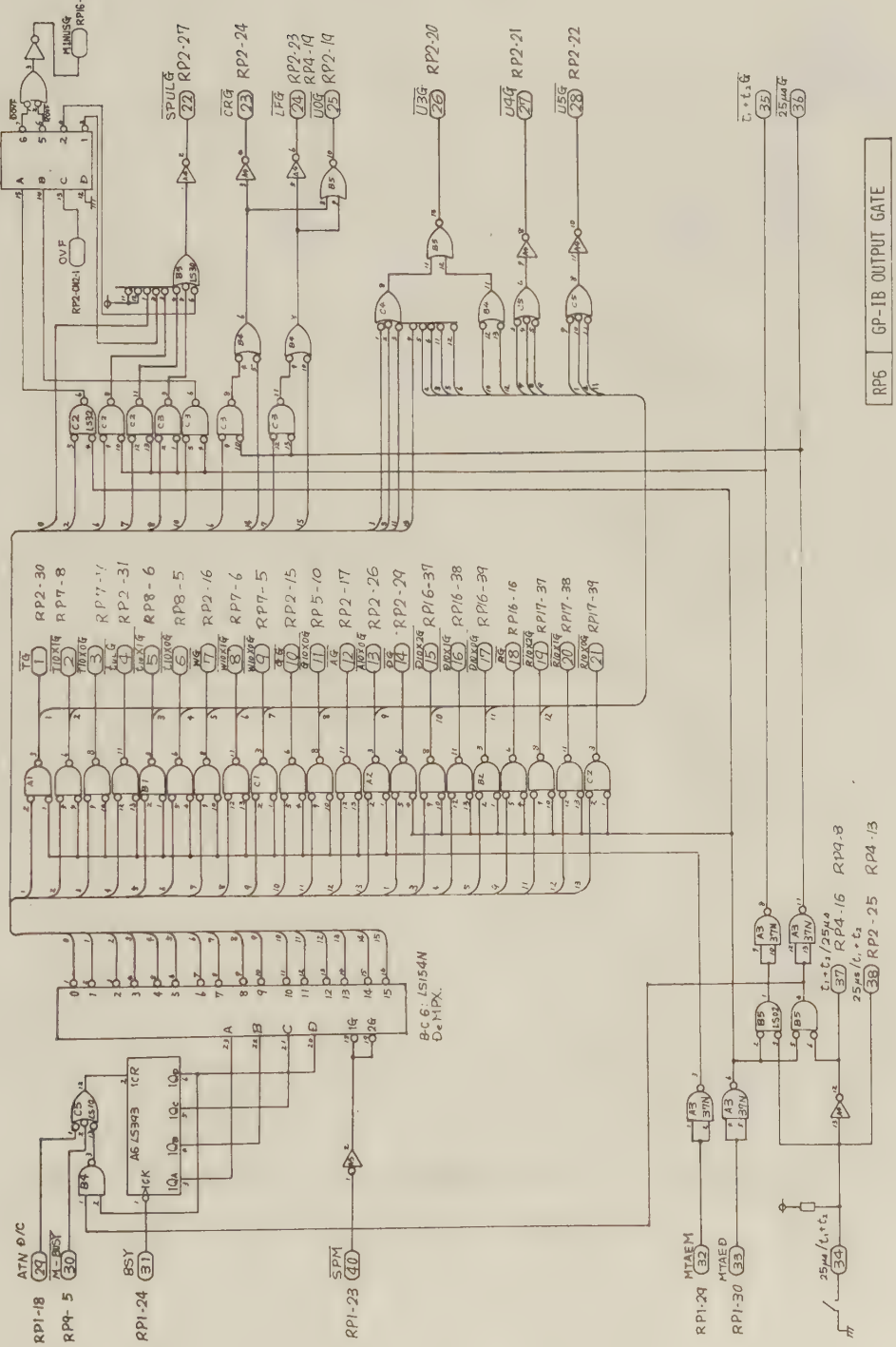

FOUR TIMES
RP4 HANDSHAKE CONTROL
RS-ENB
GP-18 ENB
RP1-32
RP3-18
RP3-17
RP4-25
RP10-20
RP11-28
RP7-25
RP11-27
RP1-29
RP3-23
RP10-33
RP11-29
RP8-18
RP5-5
RP7-32
RP3-19
RP1-22
RP1-20
RP1-26
RP1-27
RP6-38
RP9-19
RP9-9
RP6-37
RP1-30
RP6-24
RP1-21
RP5-18
RP1-24
RP1-18
RP5-22
START
RP3-15
RP3-14
RP3-13
RP3-12
RP3-11
RP3-10
RP3-9

付 録

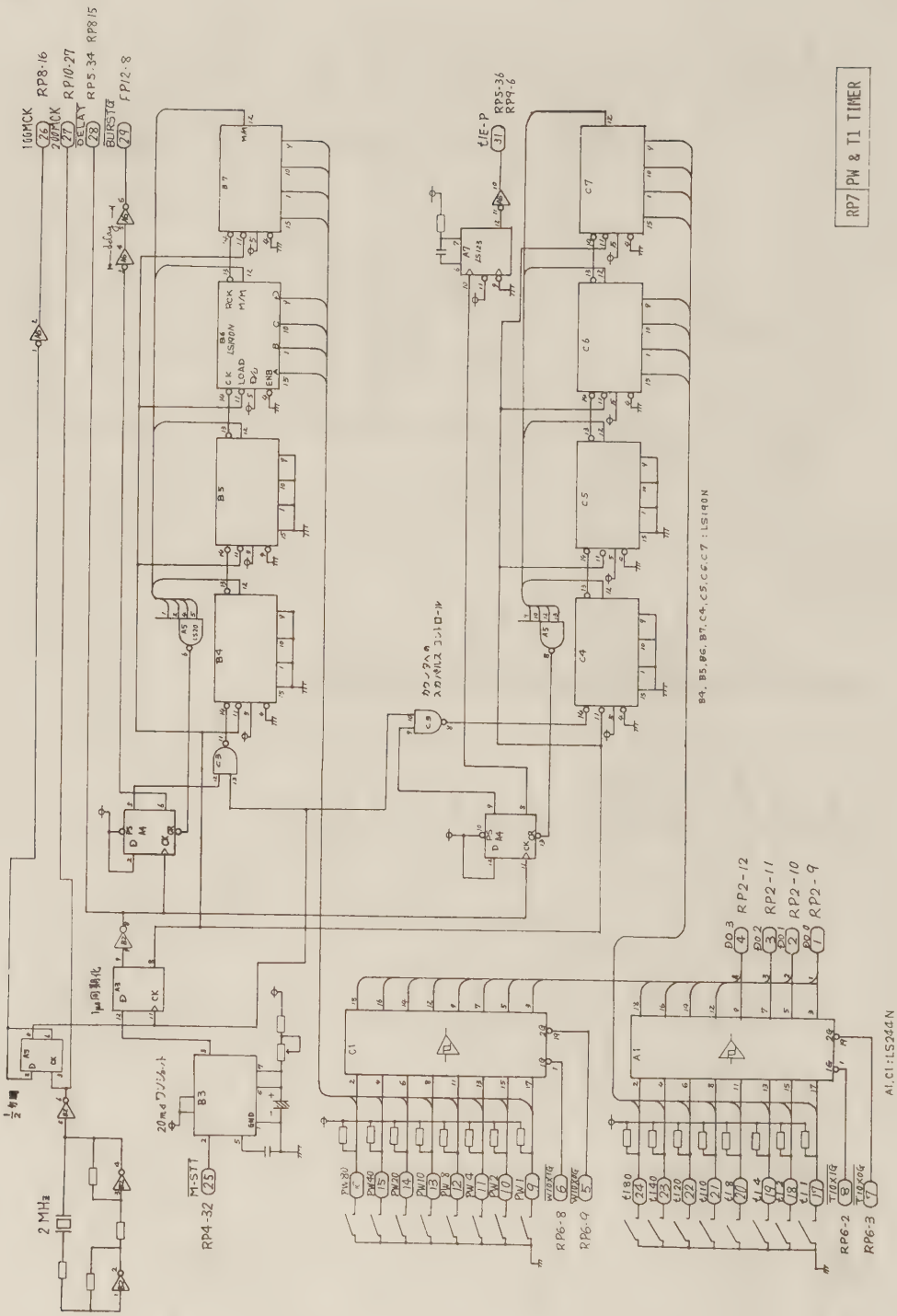


RP5 PROGRAMMABLE GAIN

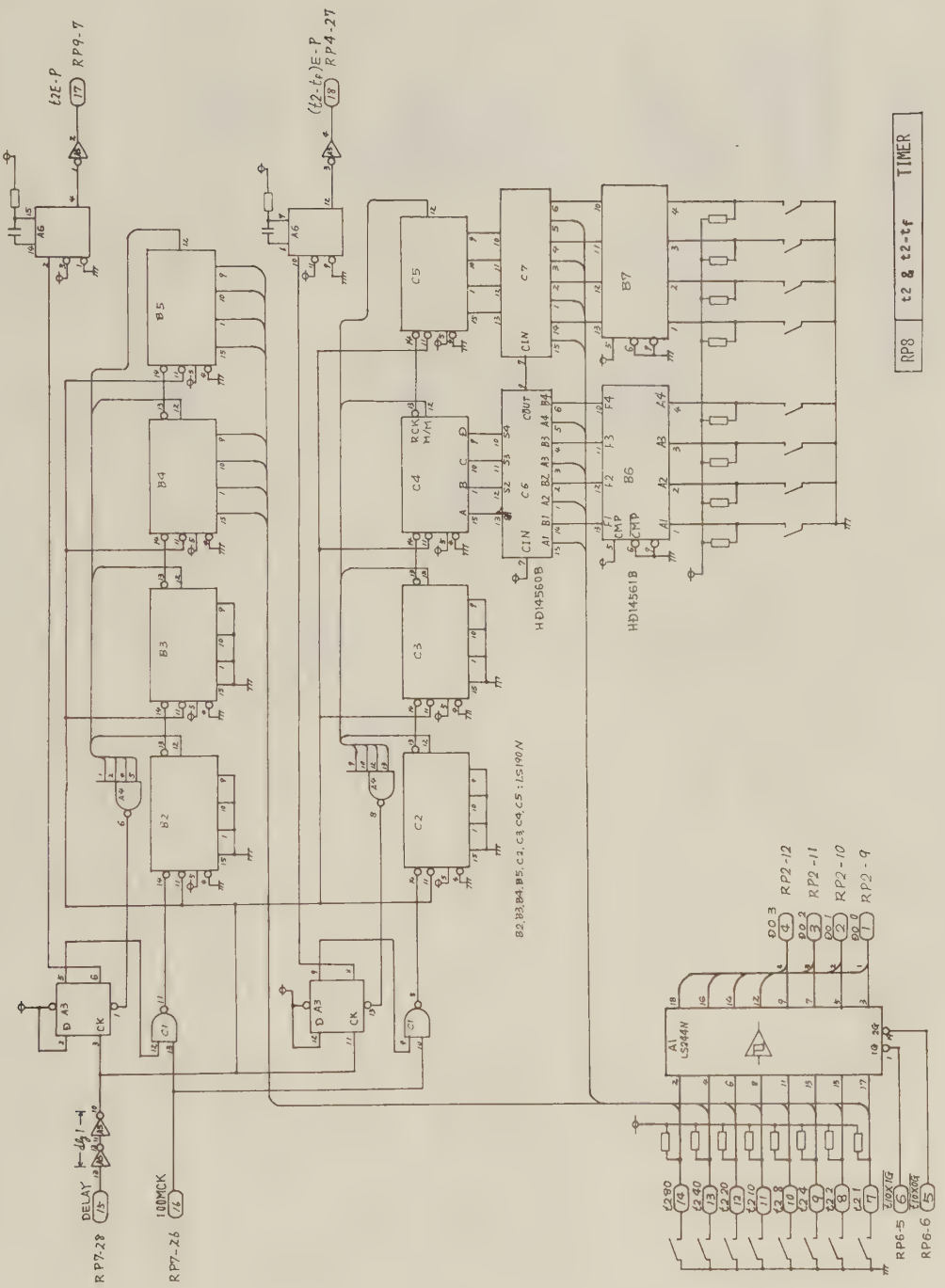
付 録


RP6 GP-IB OUTPUT GATE
RP2-27
RP2-24
RP2-23
RP4-14
RP2-19
RP2-20
RP2-21
RP2-22
RP2-30
RP7-8
RP7-1
RP2-31
RP8-6
RP8-5
RP2-16
RP7-6
RP7-5
RP2-15
RP5-10
RP2-17
RP2-26
RP2-29
RP16-37
RP16-38
RP16-39
RP16-16
RP17-37
RP17-38
RP17-39
BC-6-LS154N DeMPX.
A6 LS393
RP1-18
RP4-5
RP1-24
RP1-23
RP1-29
RP1-30
RP4-8
RP4-16
RP2-25
RP4-13

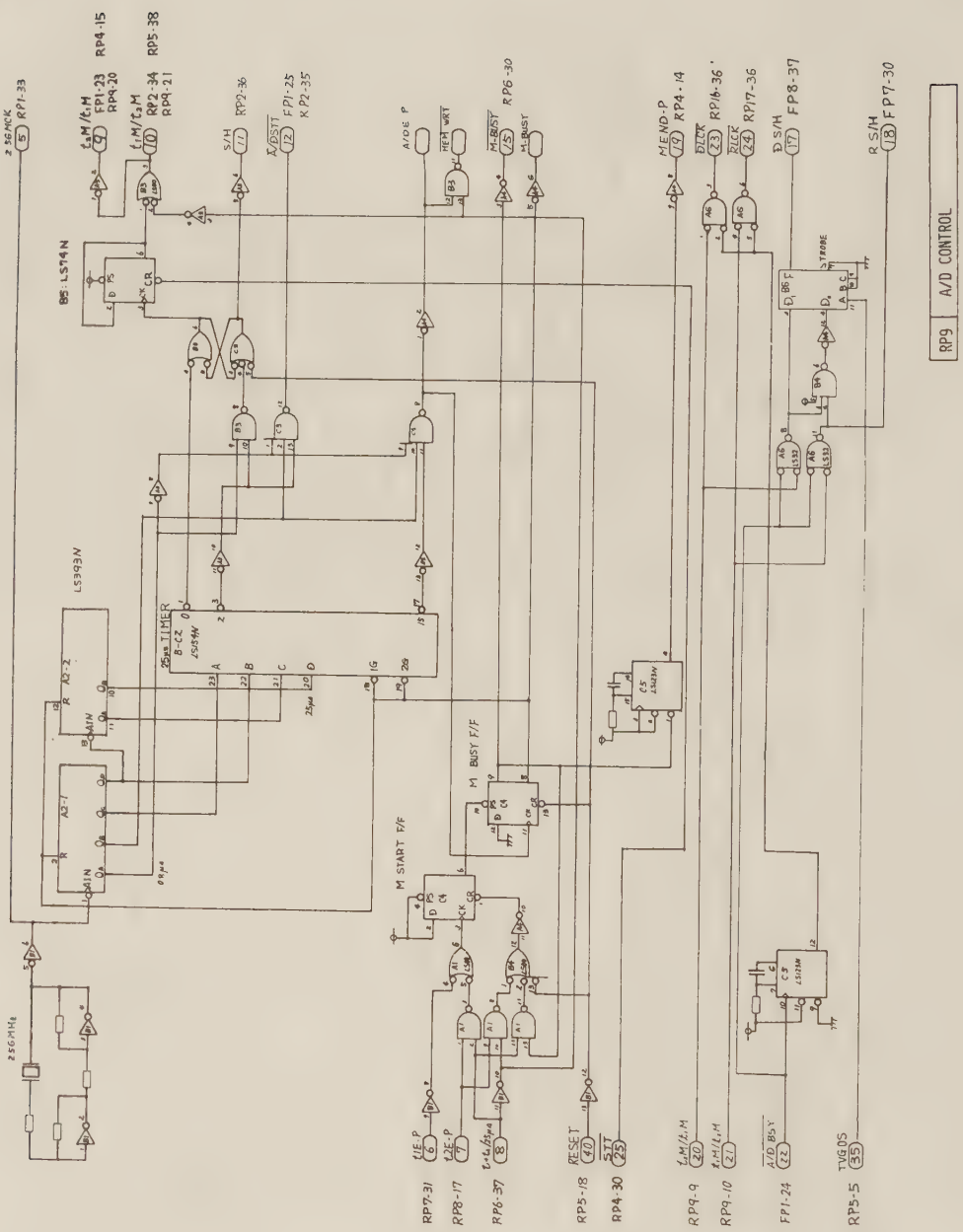
付 録


RP7 PW & T1 TIMER
100MCK RP8-16
200MCK RP10-27
DELAY RP5-34 RP8-15
BURSTG RP12-8
RP5-36 RP9-6
B4, B5, B6, B7, C4, C5, C6, C7 : LS190N
A1, C1 : LS244N
RP2-12
RP2-11
RP2-10
RP2-9
2 MHz
RP4-32
RP6-8
RP6-9
RP6-2
RP6-3

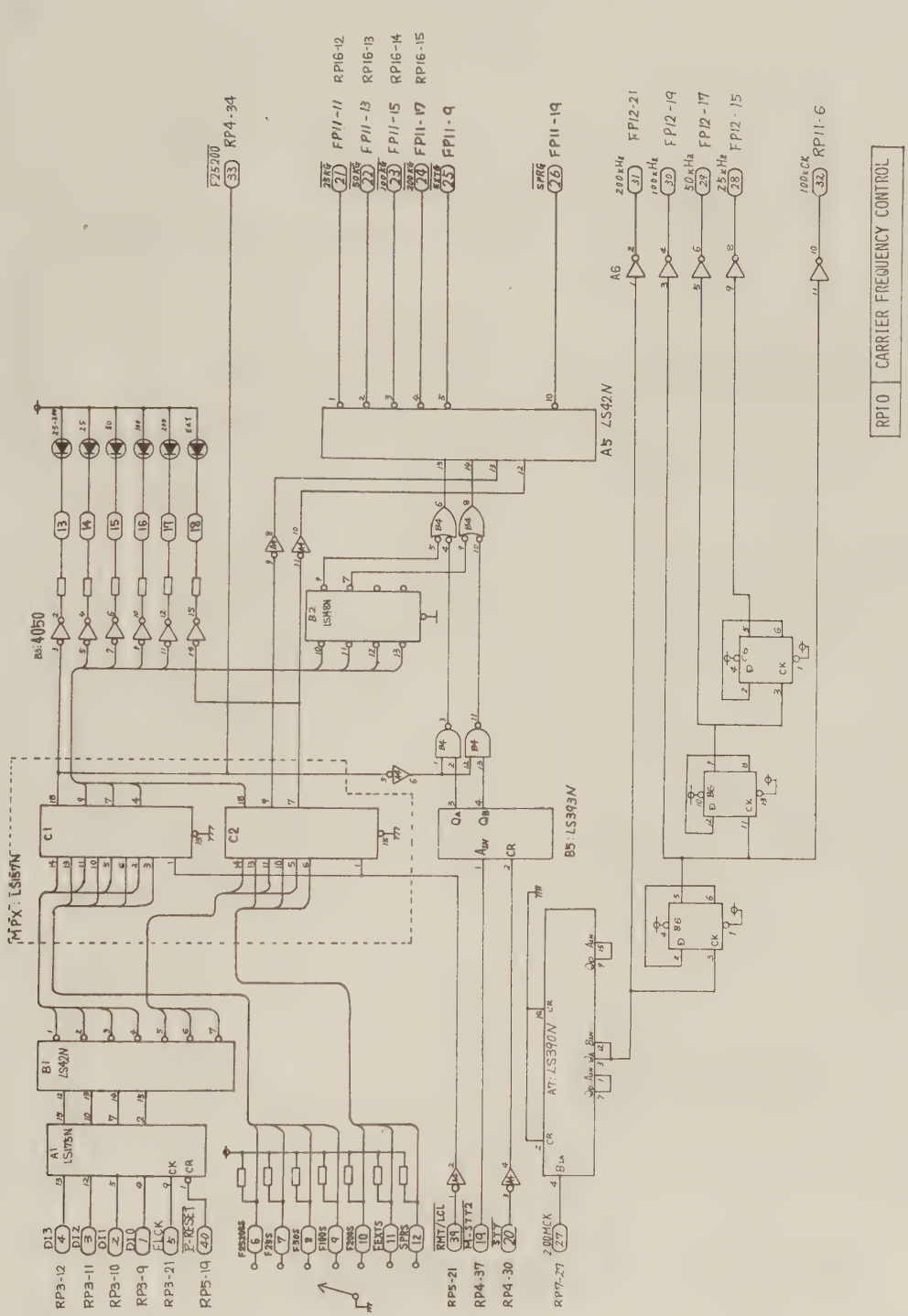
付　録


RP8 t2 & t2-tf TIMER
(t2-t1)E-P RP4-27
t2E-P RP9-7
DELAY RP7-28
100MCK RP7-26
RP6-5
RP6-6
RP2-12
RP2-11
RP2-10
RP2-9
HD14560B
HD14561B
B2,B3,B4,B5,C2,C3,C4,C5:LS190N

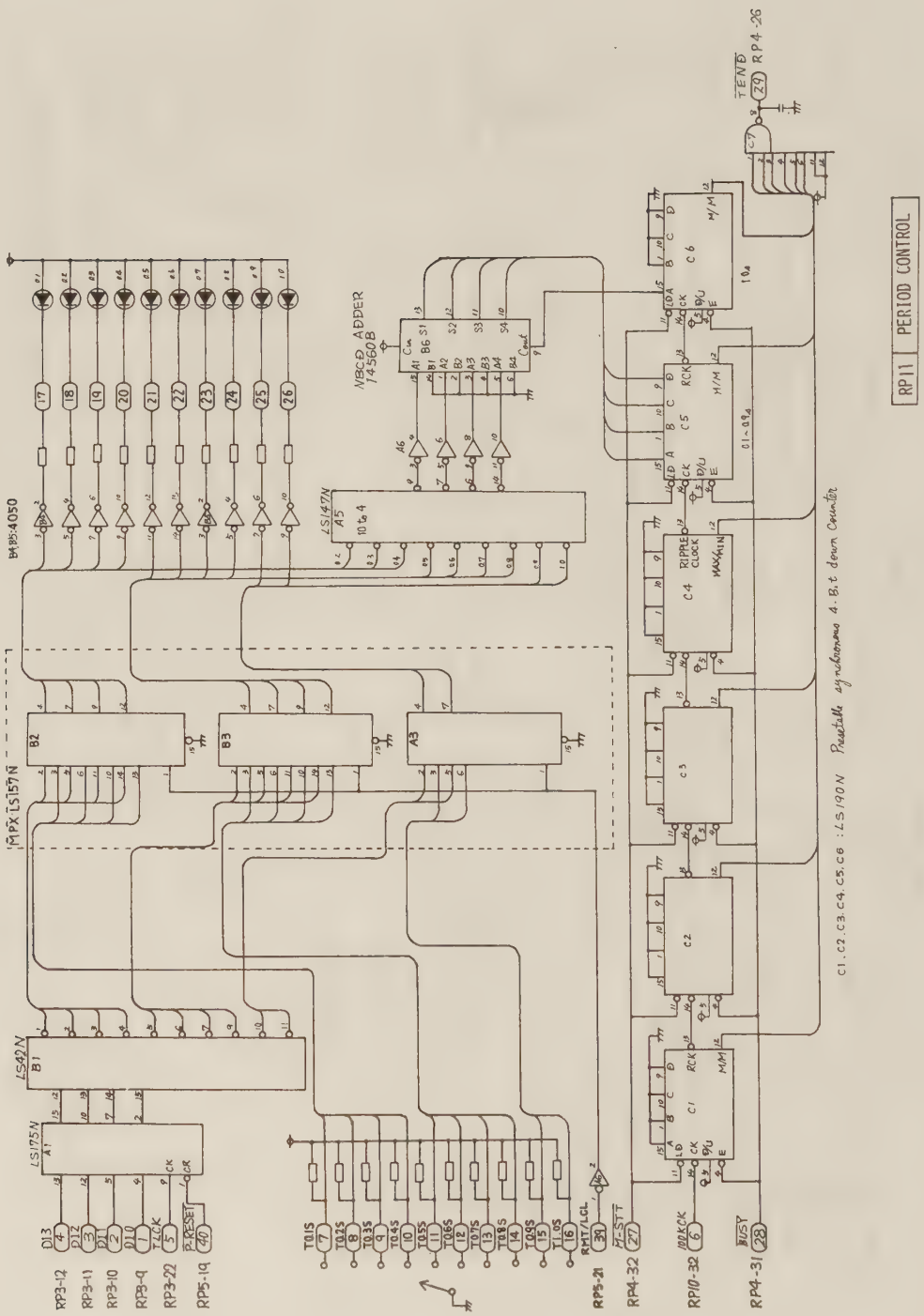
付 録


RP9 A/D CONTROL
256MCK
RP1-33
8S-LS74N
LS393N
25μs TIMER
M START F/F
M BUSY F/F
RESET
A/D BUSY
STROBE
RP4-14
RP16-36
RP17-36
RP8-37
RP7-30
RP9-9
RP9-10
RP1-24
RP5-5
RP7-31
RP8-17
RP6-37
RP5-18
RP4 30

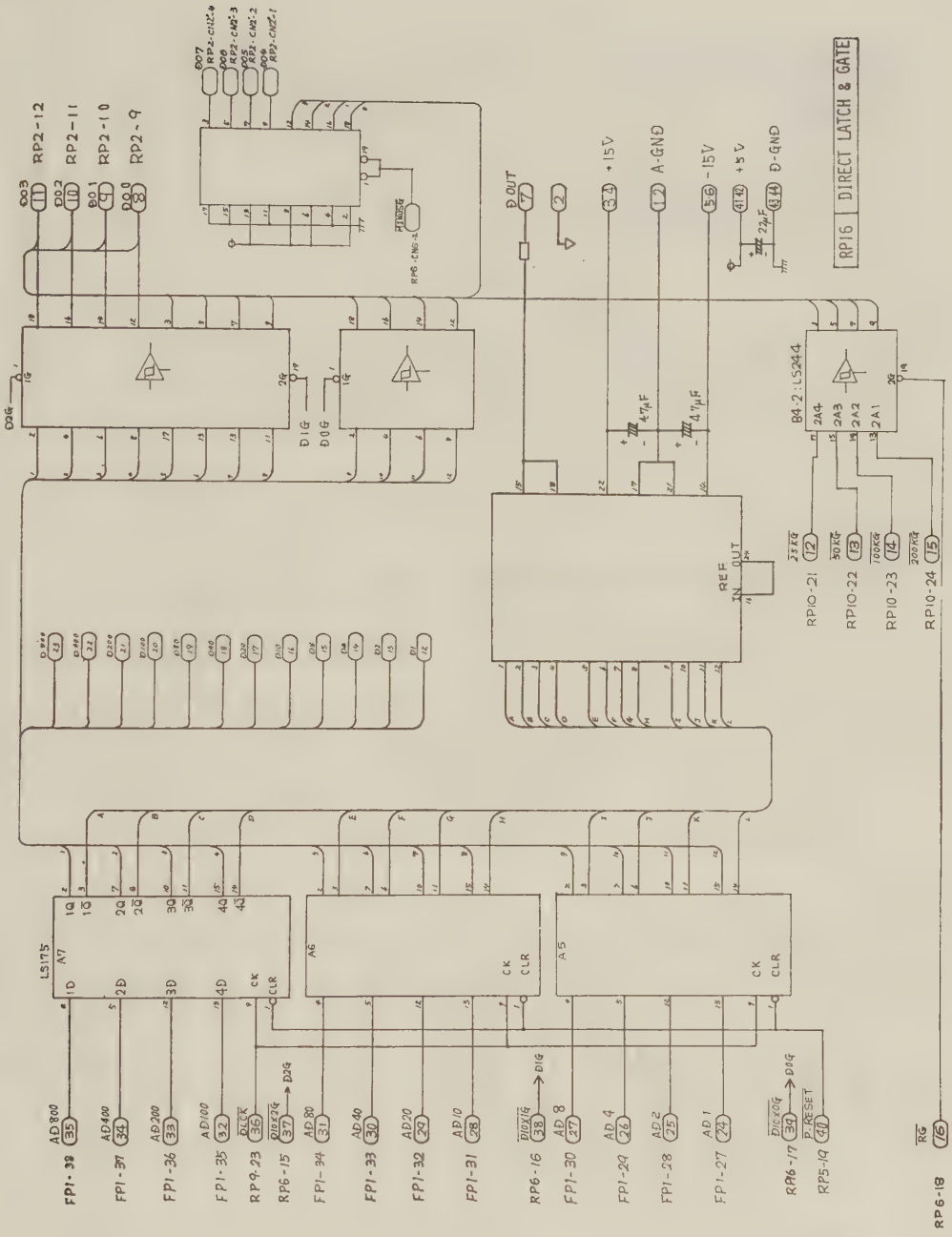
付 録


RP10 CARRIER FREQUENCY CONTROL
A5 LS42N
B5: LS393N
A7: LS390N
B1 LS42N
A1 LS175N
C1
C2
MPX: LS157N
B2 LS48N
B3: 4050
RP4-34
RP16-12
RP16-13
RP16-14
RP16-15
FP11-11
FP11-13
FP11-15
FP11-17
FP11-9
FP11-19
FP12-21
FP12-19
FP12-17
FP12-15
RP11-6
RP3-12
RP3-11
RP3-10
RP3-9
RP3-21
RP5-19
RP5-21
RP4-37
RP4-30
RP17-27
D13
D12
D11
D10
F-RESET
RMT/LCL
100MCK

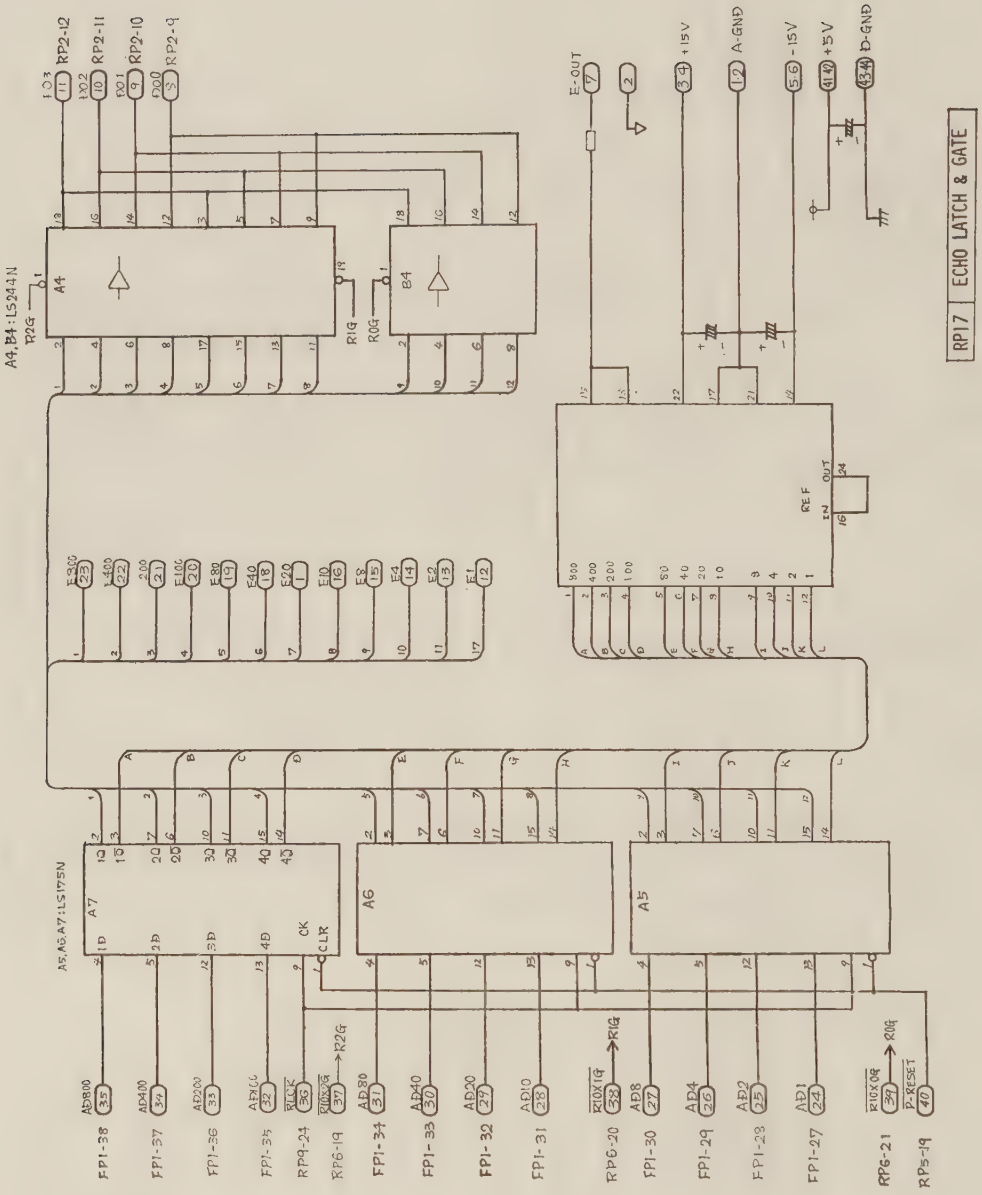
付 録


RP11 PERIOD CONTROL
C1.C2.C3.C4.C5.C6 : LS190N Presetable asynchronous 4-Bit down Counter
TEND RP4-26
NBCD ADDER 74560B
LS147N
BIN5:4050
MPX LS157N
LS42N
LS175N
RP3-12
RP3-11
RP3-10
RP3-9
RP3-22
RP5-19
RP5-21
RP4-32
RP10-32
RP4-31
RIPPLE CLOCK
MAXMIN

付　録


RP2-12
RP2-11
RP2-10
RP2-9
DIRECT LATCH & GATE
RP16
+15V
A-GND
-15V
+5V
D-GND
DOUT
REF IN OUT
B4-2:LS244
RP10-21
RP10-22
RP10-23
RP10-24
LS175
A7
A6
A5
CK
CLR
FP1-38
FP1-37
FP1-36
FP1-35
RP9-23
RP6-15
FP1-34
FP1-33
FP1-32
FP1-31
RP6-16
FP1-30
FP1-29
FP1-28
FP1-27
RP6-17
RP5-14
RP6-18
P.RESET
RG

付 録


RP17 ECHO LATCH & GATE
A4, B4 : LS244N
A5, A6, A7 : LS175N
E-OUT
A-GND
D-GND
+15V
-15V
RP2-12
RP2-11
RP2-10
RP2-9
R2G
R1G
R0G
A4
B4
A5
A6
A7
REF
CK
CLR
P-RESET
FP1-38
FP1-37
FP1-36
FP1-35
FP1-34
FP1-33
FP1-32
FP1-31
FP1-30
FP1-29
FP1-28
FP1-27
RP4-24
RP6-19
RP6-20
RP6-21
RP5-19

水工研報告 4
1983 pp. 163~171

Result of Experiments of Modified Trawl Gear for Reducing Incidental Catches of Chinook Salmon

By

Takeo KOYAMA,* Toshihiko KAWASHIMA**

Contents

1. A modified trawl net ····163
2. The experimental methode ····164
3. The result of the experiment ····166
3–1. The comparison of the number and the catch of pollocks chinook and chum salmons caught ····166
3–2. The ratio of escaped pollocks through large meshes on the basis of their fork length ····167
4. Conclusion and Summary ····168
5. Reference ····170
6. Summary in Japanese ····171

We had conducted the experiments for reducing incidental catches of chinook salmons during Nov. 2–19 in INPFC areas of the Bering Sea, using a scientific research vessel, called "Ryoan-maru".

The following is the results of this experiment.

1. A modiffied trawl net

The people who are engaged in the fixed shore net fishing often point out that judging from their experience, salmons and trouts have the habit to head for a light place. But this is not scientifically proved. It might be possible to assume that these fishes have the habit to head for upper direction. Thus, we also attempted to bring the habit of these fishes to light in our experiment at this time.

We compared the performance of modified trawl nets with that of the traditional one on the basis of the total catch and the number of the chinook salmons caught. As shown in Fig 1–2, one of the modified nets is equipped with the baiting part of the trawl net in 3,000 mm in mesh size and another one with the baiting part in 1000 mm in mesh size.

It is possible to conceive that these chinook salmons escape through the large meashes, if they have the habit to head for upper direction.

Fig 3 illustrates the design of the large meshes equipped with the modified trawl net. On the basis of the result of the model experiment for the modified trawl net, we observed that

Contribution:
*: Fishing Gear and Methods Depart ment.
**: Fishing Boat and Instrument Department.

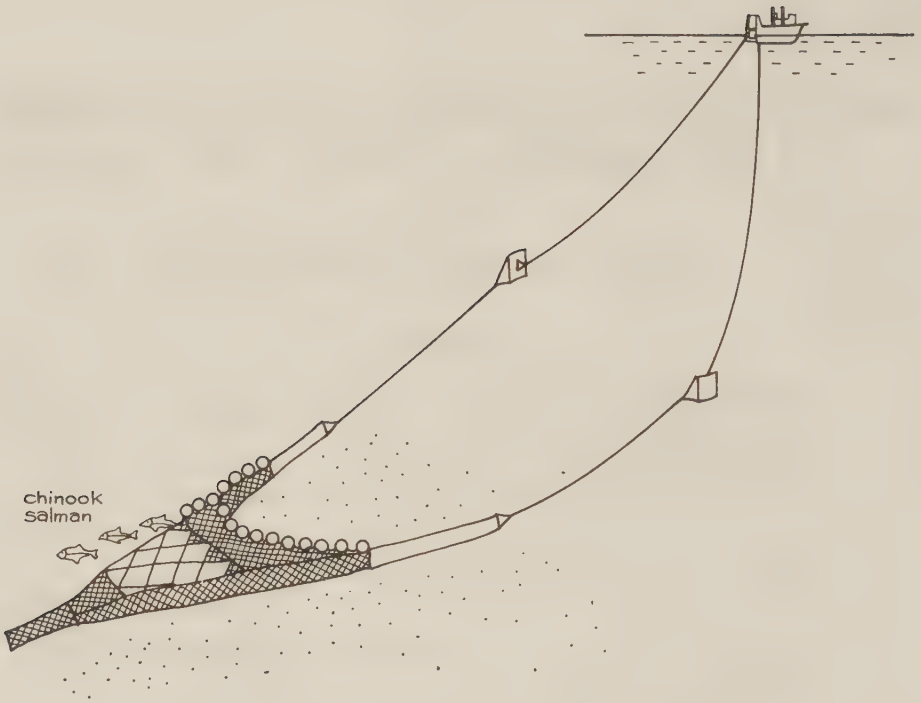


Fig. 1. Author's conception for reduceing incidental chinook salmon catch (Large meshes in baiting part)

the mouthpice of the net from the sea bed rode to a height of 6 m at the speed of 2.5 knots in trawling the net.

We also found that the performence of this modified net was considerably good.

2. The experimental methode

We compared the performnce of the modified nets with the traditional one on the basis of the number of chinook and chum salmons caught and the catch of pollocks, trawling alternatively these nets every other day. (Most fishes caught were pollocks, so that within the column "Catch" of our Tables we provided only the quantity of pollocks).

The trawling speed was about 3.5 knots and trawling hour at each time took one and half hours in using either one of these different nets.

The experiment took eight days for the modified net (31 nets) and nine days for the traditional one (32 nets), which amounted to seventeen days as the total period of this testing.

The experiment using the trawl net in 3000 mm in mesh size was conducted on November 2, 5, 8, and 10, which amounted to four days period. (16 nets). The traditional net was used on November 3, 4, 7, 9, 11, 13, 14, 17 and 18, which totaled to nine days (32 nets).

Besides, the trawl net in 1000 mm mesh size was also experimented on November 12, 15, 16, and 19, which amounted to four days as a whole (15 nets).

While the experiment of the modified net in 3000 mm in mesh size proceeded without any accident, that of the modified net in 1000 mm in mesh size encountered dificulties due to

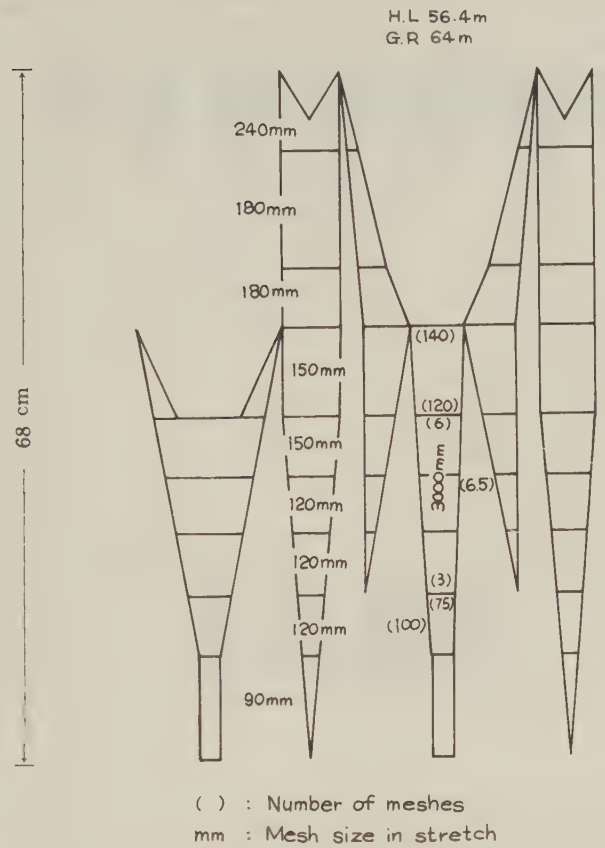


Fig. 2. Specification of modified trawl net used for reduceing incidental chinook salmon catch
(Baiting part 3000 mm meth size)

Table 1. Comparative catches of modified trawlnet (B) and traditional trawl net (A)

Kind of trawl net	Number of hauls	Trawling hour (hour)	Catch of Pollock (ton)	Number of chinook salmon caught	Number of chum salmon caught
Modified trawl net 3000 mm in mesh size (B)	16	24	137.5	2	5
Traditional trawl net 150 mm in mesh size (A)	32	48	371.0	18	18

Remarks:
Chinook salmon: average fork length 660 mm
average body weight 4.42 kg
Chum salmon: average fork length 630 mm
average body weight 3.18 kg

the serious damages of the net itself, which occured one after another. As the result,it was only November 15 that we could undertake the experiment under a normal condition. (Appendix Table)

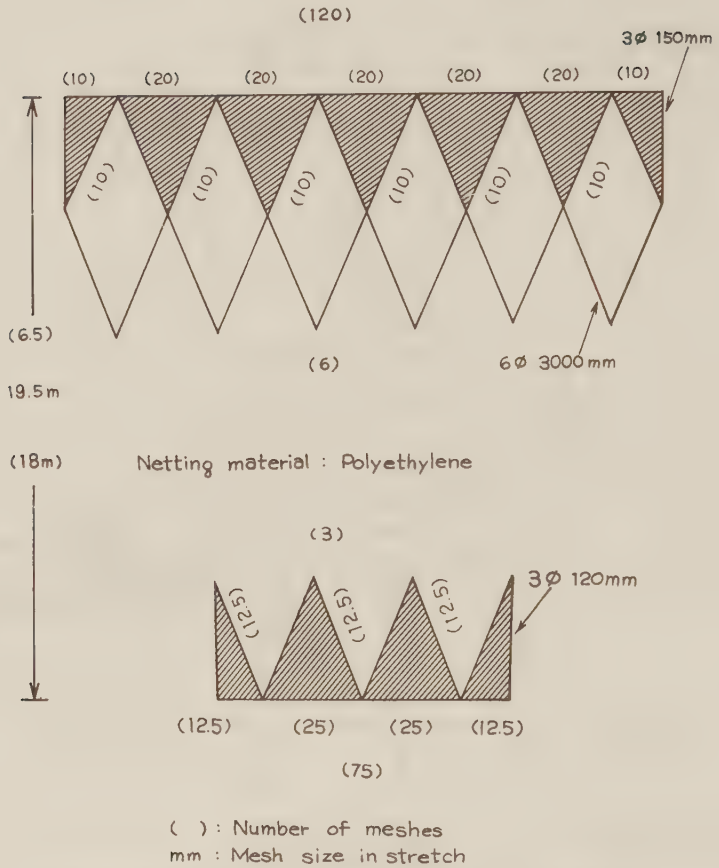


Fig. 3. Specification of baiting part 3000 mm in mesh size

Table 2. Comparative CPUE of modified trawl net (B) and traditional trawl net (A)

Kind of trawl net	Trawling hour (hour)	CPUE	
		Catch of Pollock (ton)	Number of chinook salmon caught
Modified trawl net 3000 mm in mesh size (B)	24	5.73	0.083
Traditional trawl net 150 mm in mesh size (A)	48	7.73	0.375
Ratio B/A		0.74	0.221

The trawling speed in the actual operation was 2.5—3.5 knots and the mouthpiece of the net from the sea bed rode to a hight of 5—6 m, which was indentified by a net recorder, and the distance between two otter boards was 80—90 m.

3. The result of the experiment

3-1. The comparison of the number and the catch of pollocks, chinook and chum

Table 3. Escaped pollock through large meshes (3000 mm)

Date	Noon position	Kind of trawl net	Catch of pollock (ton)	Number of sample (pollock)	Average fork length of pollock (mm)	Catch ratio of pollock (B/A)
Nov. 2 1981	59—38.6W 177—28.9N	Modified trawl net 3000 mm in mesh size (B)	23.0	613	396	0.42
3	59—37.5N 177—28.7W	Traditional trawl net 150 mm in mesh size (A)	54.0	1,563	346	
4	58—18.0N 174—18.5W	A	72.0	1,090	408	0.34
5	58—13.8N 174—13.0W	B	24.5	666	421	
7	56—00.3N 169—38.0W	A	25.0	429	458	0.60
8	56—02.3N 169—30.0W	B	15.0	333	469	
9	56—15.0N 169—37.0W	A	67.0	556	503	1.12
10	56—15.5N 169—32.0W	B	75.0	443	517	

salmons caught.

Table 1–2 show the comparison of the number and the catch of pollocks, chinook and chum salmons between the traditional trawl net, A (32 nets), and the modified one, B (16 nets) in 3000 mm in mesh size. According to these Tables, it can be found that the catch of pollocks decreased by about 26% and the number of chinook salmons also did by about 78% in the case of using the modified net in 3000mm in mesh size, if we compare it with the traditional net.

Moreover, the catch ratio of pollock as against chinook salmon was 0.049 per metric ton in the case of the traditional trawl net and 0.015 per metric ton in that of the modified one. It seems to me that this result shows that chinook salmons have the higher rate of escaping through the large meshes than the pollocks did.

But, the total number of chinook salmons caught was no more than twenty, so that judging from this quite small quantity, the result is unlikely to possess an experimental accuracy.

3–2. The ratio of escaped pollocks through large meshes on the basis of their fork length

Table 3 shows the comparison of the catch by day and the avrage fork length of pollocks caught between the traditional trawl net and the modified one in 3000 mm in mesh size. According to the data of Table 3, near 60% of small pollocks with their average fork length of 350—420 mm are likely to escape through the large meshes of the trawl net.

Moreover, 40% of medium pollocks with their fork length of 460—470 mm probably escape through the meshes. (The comparison was made between the seventh day and eighth day)

Table 4. Escaped pollock through large meshes (1000 mm)

Date	Noon position	Kind of trawl net	Trawling time (JST)	Catch of pollock (ton)	Number of sample (pollock)	Average fork length of pollock (mm)	Catch ratio of pollock (C/A)
Nov. 14 1981	56—07.0N 168—34.5W	Traditional trawl net 150 mm in mesh size (A)	0311—0441	2.5	170	463	
			0523—0653	1.5	156	507	
			0734—0904	10.0	159	508	
			0945—1155	5.0	151	486	
15	56—07.0N 168—39.4W	Modified trawl net 1000 mm in mesh size (C)	0315—0445	2.0	93	446	0.8
			0523—0653	3.0	121	400	2.0
			0734—0904	8.0	62	459	0.8
			0945—1155	13.0	66	450	2.6

The large pollocks, with their average fork length of 500—520 mm are unlikely to escape through the meshes, so that the catch of them does not show so much difference between the modified net and the traditional one in the Table.

As explained previously, we could undertake the experiment of trawl net in 1000 mm in mesh size only for two days, November 14, and 15, since the net was often severely damaged.

Thus, Table 4 shows the comparison of escaped pollocks through large meshes (1000 mm) between these two day. The data in the Table 4 suggests that the catch of small pollocks, even with their fork length of 400—450 mm, does not show so much difference between the modified trawl net and the traditional one.

Therefore, one can judge that pollocks probably do not escape from the trawl net, if its mesh size is around 1000 mm. The nunber of chinook salmons incidentally caught was only one in either case of the traditional and modified trawl nets, so that we could not get the conclusion on the incidental catch of chinook salmons.

As to the theme for a future research, it seems to be important that we continus this experiment with an eye to study the ratio of escaped pollocks and chinook salmons, using the trawl net in 1000 mm or 2000 mm in mesh size.

4. Conclusion and Summary

We had conducted the experiments for reducing incidental catches of chinook salmons during Nov. 2–19 in INPFC areas of the Bering Sea.

We compared the performance of modified trawl nets with that of the traditional one on the basis of the total catch and the number of the chinook salmons caught. As shown in Fig 1—3, one of the modified nets is equipped with the baiting part of the trawl net in 3,000 mm in mesh size.

The following is the results of this experiment.

1) It can be found that the catch of pollocks decreased by about 26% and the number of chinook salmons also did by about 78% in the case of using the modified net in 3,000 mm in meshsize, if we compare it with the traditional net.

2) According to the data of Table 3, near 60% of small pollocks with their average fork length of 350—420 mm are likely to escape through the large meshes of the trawl net.

Appendix Table. Results of experiments of *Ryoan maru* No. 31 in the Bering Sea

Date	Noon position	Kind of trawling net	Trawling time (JST)	Trawling hour	Catch of pollock (ton)	Number of chinook salmon caught	Number of chum salmon caught	Remarks
1981 Nov. 2	59—38.6N 177—28.9W	B-01	0408—0530	1.5	3.0	1	0	B: Modified trawl net baiting part 3000 mm in mesh size A: Traditional trawl net baiting part 150 mm in mesh size C: Modified trawl net baiting part 1000 mm in mesh size
		B-02	0615—0745	1.5	2.5	0	3	
		B-03	0825—0955	1.5	5.5	0	0	
		B-04	1025—1155	1.5	6.0	0	1	
		B-05	1239—1409	1.5	6.0	0	0	
3	59—37.5N 177—28.7W	A-01	0400—0530	1.5	9.0	0	1	
		A-02	0616—0746	1.5	15.0	0	1	
		A-03	0820—0950	1.5	15.0	0	0	
		A-04	1025—1155	1.5	15.0	0	3	
4	58—18.0N 174—18.5W	A-05	0413—0543	1.5	15.0	3	0	
		A-06	0624—0754	1.5	30.0	0	0	
		A-07	0837—1007	1.5	10.0	0	0	
		A-08	1116—1246	1.5	17.0	1	11	
5	58—13.8N 174—13.0W	B-06	0320—0450	1.5	10.0	0	0	
		B-07	0520—0650	1.5	7.0	0	0	
		B-08	0730—0900	1.5	5.0	0	0	
		B-09	0930—1100	1.5	2.5	0	1	
7	56—00.3N 169—38.0W	A-09	0538—0708	1.5	10.0	0	1	
		A-10	0749—0919	1.5	10.0	0	0	
		A-11	1011—1141	1.5	1.5	0	0	
8	56—02.3N 169—30.3W	B-10	0425—0555	1.5	3.0	0	0	
		B-11	0646—0816	1.5	8.0	0	0	
		B-12	0911—1041	1.5	4.0	0	0	
9	56—15.0N 169—37.0W	A-12	0405—0535	1.5	15.0	0	0	
		A-13	0620—0750	1.5	15.0	0	0	
		A-14	0835—1005	1.5	20.0	0	0	
		A-15	1050—1220	1.5	17.0	0	0	
10	56—15.5N 169—32.0W	B-13	0355—0525	1.5	20.0	0	0	
		B-14	0603—0733	1.5	20.0	0	0	
		B-15	0812—0942	1.5	20.0	0	0	
		B-16	1020—1150	1.5	15.0	1	0	
11	56—11.6N 169—02.3W	A-16	0351—0521	1.5	15.0	7	0	
		A-17	0553—0723	1.5	7.0	0	0	
		A-18	0828—0958	1.5	15.0	0	0	
		A-19	1041—1211	1.5	8.0	2	0	
12	56—11.0N 169—08.0W	C-01	0417—0547	1.5	4.0	0	0	Trawl net damaged
		C-02	0635—0805	1.5	5.0	0	0	
		C-03	0930—1100	1.5	5.0	0	0	
13	56—26.5N 168—54.0W	A-20	0205—0335	1.5	2.5	0	0	
14	56—07.0N 168—34.5W	A-21	0333—0503	1.5	2.5	1	0	
		A-22	0540—0710	1.5	1.5	0	0	
		A-23	0749—0919	1.5	10.0	0	1	
		A-24	1001—1131	1.5	5.0	0	0	
15	56—07.0N 168—39.4W	C-04	0315—0445	1.5	2.0	0	0	
		C-05	0425—0555	1.5	3.0	1	0	
		C-06	0732—0902	1.5	8.0	0	0	
		C-07	0940—1110	1.5	13.0	0	0	

Date	Noon position	Kind of trawling net	Trawling time (JST)	Trawling hour	Catch of of pollock (ton)	Number of chinook salmon caught	Number of chum salmon caught	Remarks
16	55—15.5N 167—58.0W	C-08 C-09 C-10 C-11	0311—0441 0523—0653 0734—0904 0945—1115	1.5 1.5 1.5 1.5	1.5 1.5 2.0 2.0	0 0 0 0	0 0 0 0	Trawl net damaged
17	55—15.7N 167—58.5W	A-25 A-26 A-27 A-28	0319—0449 0536—0706 0742—0912 0949—1119	1.5 1.5 1.5 1.5	2.0 2.5 3.0 3.0	0 0 1 1	0 0 0 0	
18	54—40.5N 166—28.0W	A-29 A-30 A-31 A-32	0359—0529 0607—0737 0810—0940 1013—1143	1.5 1.5 1.5 1.5	20.0 18.0 23.0 15.0	1 1 0 0	0 0 0 0	
19	54—44.0N 166—35.0W	C-12 C-13 C-14 C-15	0413—0443 0739—0909 0947—1117 1150—1320	1.5 1.5 1.5 1.5	0 5.0 12.0 3.0	0 0 2 0	0 0 0 0	Trawl net damaged

Moreover, 40% of medium pollocks with their fork length of 460—470 mm probably escape through the meshes.

The large pollocks, with their average fork length of 500—520 mm are unlikely to escape through the meshes, so that the catch of them does not show so much difference between the modified net and the traditional one in the Table.

5. References

1) Takeo KOYAMA; On the improvement of the trawl gear used in the demersal trawling operation by the Japanese to avoid indiscriminate catching, INPFC document, Tokyo, March, 1981.

2) Takeo KOYAMA; Trawl gear for reducing incidental catches of crabs, halibuts, salmons, Bull. Tokai Reg. Fish. Lab. "SAKANA" No. 27, december, 1981.

ベーリング海におけるマスノスケ混獲防止トロール漁具実験結果

小山　武夫・川島　敏彦

和文要旨

1981年11月2—19日の期間，ベーリング海 INPFC 海域において第31漁安丸（北転船）によりマスノスケの混獲防止トロール漁具実験が行なわれた。

実験に使用した改良トロール漁具は図1～3に示すようにトロール網の上腹網部に 3000 mm あるいは 1000 mm の大型網目を使用したもの，従来網との比較結果は，

1) 3000mm の大型網目使用の場合は従来型トロール網に比較してマスノスケの混獲が約 78％，また，スケトウダラの漁獲が約 26％ 減少した。

2) 3000 mm の大型網目使用の場合，体長 350～420 mm の小型スケトウダラは約 60％ が大型網目より逃避するらしく，また，460～470 mm の中型スケトウダラは約 40％ が逃避するらしい。しかし，500～520 mm の大型スケトウダラはほとんど逃避がないようで漁獲はほとんど変わらなかった。小型魚ほど大目網からの逃避率は大きいようである。

3) 1000mm の大型網目使用の場合は小型スケトウダラの逃避はほとんどないようであった。マスノスケの混獲については不明。

水工研報告 4
1983 pp. 173～181

船底防汚塗料別による生物付着の状況調査（第1報）

林　一朗*・今島　実**

目　次

1. 緒言 ……173
2. 方法 ……173
3. 使用した塗料の成分 ……174
4. 結果と考察 ……174
5. 参考文献 ……174
6. Summary ……181

1. 緒　言

林・平本と馬渡は FRP（強化プラスチック）製の試験板に，それぞれ成分の異なる数種類の防汚塗料を塗布して，一定期間海水中に浸漬し，その試験板に付着した動植物の種類，付着量，付着時期等を検討した[1),2)]。しかし実際に船が航走する時には，造波，摩擦，渦流抵抗，推進器による吸入，排出流などが船体に複雑に影響し，静的な試験板の場合と当然異なることが予想される。

そこで，先に今島・林は FRP 船である水産工学研究所所属調査船“たか丸”（50 t）を利用して，同船の船底を3区域に分け，各域ごとに数種類の塗料を同じ順序に塗り分け，6ヶ月間の航海後，船底の部位ごとの付着生物の種類，付着量を調べ，概要を報告した[3)]。しかし，付着生物は場所，時期および年などによって種類や付着量が異なるものであって，調査に用いた塗料の効力を正確に知るためには，同時に，いくつかの，それぞれ条件の異なった水域で，しかも最低1年以上の継続観察の上で結論づけねばならないと考える。

本報告は各種成分の防汚塗料に対する付着生物の周年継続観察の手始めとして，同調査船“たか丸”の船底に日本油脂株式会社製4種類のペイントを同じ順序に塗り分け，約6ヶ月間の航海後，付着生物の種類，付着量を調査したものである。

稿を進めるに当たり，本調査に協力された“たか丸”戸部船長以下乗組員・同，試験塗料製造に協力された日本油脂株式会社，また付着生物の防汚塗料との分離に際し，機械器具を提供された東海区水産研究所保蔵部小長谷史郎技官に厚く感謝の意を表する。

2. 方　法

1981年12月2日に“たか丸”の船底を両舷共に3区域に分け，各区域ごとに4種類のペイントを幅約 1 m に

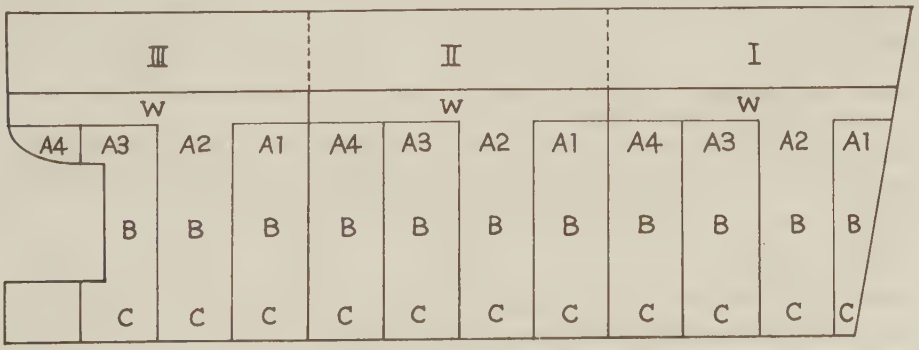


図 1　付着生物の採集箇所を示す
Showing the collecting places of the attachment organisms.

* 漁業生産工学部　** 国立科学博物館　動物研究部

同じ順序に塗り分けた。また水線部では幅 50 cm に No. 2 のペイントを全長に塗装した（写真1参照）。

その後，主に東京湾内を約6ヶ月間航海し，1982年5月27日に上架した際に付着生物を採取した。付着生物採取の方法は，図1に示すように，各試験部位ごとに上部（A），中部（B），下部（C）の3箇所と各区水線部の中央（W）に，それぞれ 25×20 cm（500 cm²）の面積で付着生物を定量採取し，10％ホルマリン液で固定した。

表 1 試験に用いた4種類の防汚塗料の成分表
Composition of sample paints for experiment

塗料種類番号	成分	含有率（%）
No. 1	Phthalocyanine Blue	3.0
	Titanium dioxide	15.0
	Body pigment	15.0
	Organic Tin Co-polymer varnish	50.0
	Additives	15.0
	Xylol	2.0
	Total	100.0
No. 2	Iron oxide	5.0
	Cuprous oxide	40.0
	Tributhy tin acrylic Co-polymer varnish	40.0
	Additives	1.0
	Xylol	14.0
	Total	100.0
No. 3	Special resn varnish	30.0
	Colour pigment	7.0
	Cuprous oxide	45.0
	Tri-phenyl tin hydroxide	5.0
	Additives	4.0
	Xylol	9.0
	Total	100.0
No. 4	Special resin varnish	22.5
	Colour pigment	4.5
A	Cuprous oxide	40.0
	Additives	1.9
	Xylol	6.1
	Special resin varnish	6.0
	Tri-phenyl tin hydroxide	5.0
B	Zinc dimethyl dithio carbamate	5.0
	Addtives	0.5
	Xylol	8.5
	Total	100.0

採取した各試料には剝離した時のペイントが混在していたので，キシロールでペイントを除去し，その後，植物と動物に分けて湿重量を測定した。

3. 使用した塗料の成分

使用した塗料は日本油脂株式会社製で，4種類のペイントの成分は表1の通りである。

4. 結果と考察

右舷及び左舷の各部位ごとの植物及び動物の 500 cm² 当りの付着量は次の表の通りである。

そして生物付着の状況の一部は，写真3及び写真4によって示した。

表中の植物は藍藻類の *Trichodesmium hildebrandtii* と珪藻類の *Cosinodiscus, Fragilaria, Achmanthes* らが混在した，いわゆるスライムである。動物はヨーロッパフジツボ *Balanus improvisus* と長さ 10 mm 内外，幅 0.3～0.5mm の細長いカンザシゴカイ科の白い棲管である。各部位における付着生物の量からみて4種類の塗料のうち No. 4 の塗料の防汚効果が大きいことが解った。ただし，本調査は12月より5月までのわずか6ヶ月間の結果であり，フジツボ類の繁殖の盛期にかかっていないこともあり，今後の継続的な調査の結果と合せて結論すべきであろう。なほ継続的な調査のために付着生物採取後同一防汚塗料を同一条件のもとに再塗装し，5月30日に下架した。同船は本年末に上架の予定であり，その際に再度調査を試みる考えでいる。

参考文献

1) 林一朗・平元泰輔：FRP（強化プラスチック）板の防汚塗料について．東海水研報，No. 74，1—21，1973.

2) 馬渡静夫・林一朗：小田原における浸漬試験板に着生したフジツボ類．東海水研報，No. 77，21-45，1974.

3) 今島実・林一朗：FRP 調査船“たか丸”の塗料別による付着生物の状況調査．付着生物研究，3(1)，47-51，1981.

表 2　右舷の各部位における 500 cm² 当りの植物ならびに動物の付着量（g）

Attachment value (g) of plant and animal for 500 cm² of each position on the starboard side

区　域		I				II				III			
部　位	Plant	0.01				0.31				0.11			
W	Animal	—				—				—			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
A	Plant	0.76	0.69	4.16	0.30	1.71	1.19	2.30	1.68	1.41	0.76	20.61	0.09
	Animal	0.01	—	5.75	—	—	—	0.55	—	—	0.09	16.70	—
B	Plant	1.06	0.50	0.36	—	0.67	0.60	0.20	0.09	0.71	0.01	1.39	
	Animal	—	—	1.35	—	2.81	—	4.12	—	0.10	—	7.55	
C	Plant	1.34	0.34	0.79	—	0.62	0.55	1.09	—	0.11	0.10	0.62	
	Animal	0.52	0.48	4.22	—	0.30	—	0.20	—	0.28	—	16.58	

表 3　左舷の各部位における 500 cm² 当りの植物ならびに動物の付着量（g）

Attachment value (g) of plant and animal for 500 m² of each position on the port side

区　域		I				II				III			
部　位	Plant	0.01				0.01				0.01			
W	Animal	—				—				—			
		1	2	3	4	1	2	4	3	1	2	3	4
A	Plant	0.40	0.72	1.92	0.53	1.45	0.01	0.47	0.50	0.74	0.23	4.22	0.11
	Animal	—	—	4.03	—	—	—	—	—	—	0.10	5.98	0.03
B	Plant	0.95	0.52	1.07	—	3.45	1.29	0.12	—	2.17	0.56	2.44	
	Animal	—	—	4.34	—	6.57	—	0.80	—	1.17	—	8.95	
C	Plant	1.26	0.40	0.86	—	0.11	—	0.30	—	0.96	—	0.75	
	Animal	0.09	—	4.36	—	0.60	—	—	—	0.04	—	18.30	

写真 1　船底防汚用試験塗料を各試験部位に同一順序で塗布する
4 kinds of bottom anti-fouling paints are painted each position.

写真 2　付着生物の定量採取後の状態
Showing the trace of the collecting place of attachment.

写真 3　生物付着の状況の一部（左舷船首部前半）を示す
Showing the attachment condition partly (the first half of the bow of the port side).

写真 4　生物付着の状況の一部（左舷船首部後半）を示す
Showing the attachment condition partly (the latter half of the bow of the port side).

Investigations on the Fouling Organisms for Four Kinds of Bottom Anti-fouling Paints (Part 1)

By

Ichiro Hayashi and Minoru Imajima

Summary

The effect on the fouling organisms of four kinds of bottom anti-fouling paints on the FRP (Fiberglass Reinforced Plastic) ship bottom was investigated in December, 1981-May, 1982.

At the result, the main fouling organisms were *Trichodesmium hildebrandtii*, *Cosinodiscus*, *Fragilaria* and *Achmanthes* as plants, and *Balanus improvisus* and serpulid tubes as animals; No. 4 paint was the most effective than the other paints for anti-fouling.

This experiment will be continued in future.

水工研報告 4
1983 pp. 183～196

平面網地の流水抵抗に関する研究 II

——蛙又結節，貫通式無結節およびラッセル平面網地の流水抵抗測定結果について——

大沢要一*・田原陽三*・森　敬四郎**

目　次

1. 緒言 ……183
2. 網地抵抗測定装置 ……183
2.1 網地抵抗測定装置の本体 ……183
2.2 網張り枠 ……184
2.3 網地抵抗測定装置に使用した荷重検出装置 ……184
3. 蛙又結節，貫通式無結節およびラッセル平面網地の流水抵抗測定結果 ……185
3.1 実験材料 ……185
3.2 実験方法 ……187
3.3 平面網地の抗力係数と揚力係数 ……187
3.4 平面網地の抗力係数の測定結果 ……188
3.5 平面網地の揚力係数の測定結果 ……191
3.6 網地の迎角が90°のときに網地の射影面積にもとずいて計算された抗力係数の値 ……193
4. 結語 ……194
参考文献 ……195
Summary ……196

1. 緒　　言

網漁具が流れから受ける流水抵抗の大きさをその図面から算定する方式を確立することは漁具設計学上，重要な研究課題の一つとされている。流水抵抗の算定結果は，漁具設計に従事する人々にとって重要であるばかりでなく，漁業機械や漁船の設計を担当する人々にとってもまた有用となろう。この研究課題を解決するに当っては，まず手初めとして各種の平面網地の揚・抗力係数の解明を行なわなければならない。

前稿[1]では，平面網地の揚・抗力係数の測定に使用する「網地抵抗測定装置」の紹介を行なうとともに，その装置を使用して測定した貫通式無結節平面網地の揚・抗力係数に関する予備実験の結果も併せて報告した。

本稿では，漁業者が現在最も多く使用している3種類の網地，即ち蛙又結節網地，貫通式無結節網地およびラッセル網地をその研究対象に選び，網地抵抗測定装置を用いてそれらの平面網地の揚・抗力係数を測定した。

今回の実験に当たり，実験用網地の御提供を頂いた泰東製綱株式会社，北陸製網株式会社および函館製網船具株式会社に謝意を表するとともに，実験および論文整理に御協力頂いた上原亥之助氏，小嶋良子氏，浜村一夫氏，広田直哉氏に深謝する次第である。

* 漁業生産工学部　** 国際協力事業団神奈川国際水産研修センター

2. 網地抵抗測定装置

2.1 網地抵抗測定装置の本体

網地抵抗測定装置はその機能面から分類すると，一種の二分力計である。図1はその測定機構を模式的に示したものである。図中に記載されている支柱はパイプおよびその内側に通されたシャフトの二つの部分から構成されており，それらが1体化したものの総称である。支柱の上端はジンバル部に接続しており，支柱の下端はシャフトを介して網張り枠に接続している。ジンバル部は船舶用コンパスに使われているものとほぼ同じ構造をしており，支柱上端はジンバル部の作用によりジンバル軸を中心に前後，左右いずれの方向にも回転するような機構になっている。また，支柱の下端付近では2個のロードセルが互いに直角の位置を保ち，支柱を支持している。このうちの1個のロードセルは流れに対し平行にセットされており，流れ直下方向の流水抵抗の成分（抗力）を

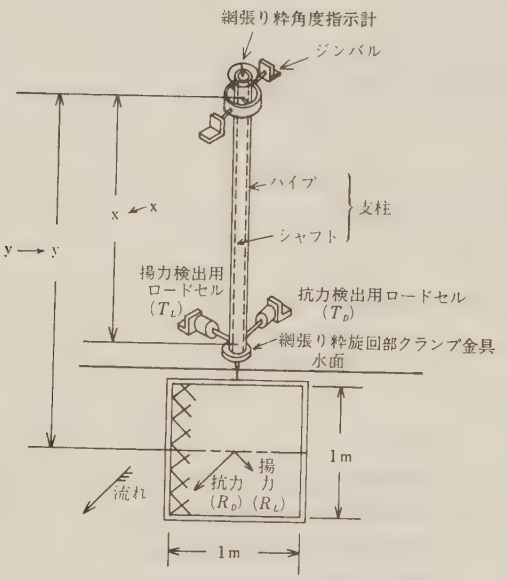


図 1　網地抵抗測定装置

Drawing of apparatus for measurement of hydraulic resistance of plain nets

検出するために使用されている。また，他の1個のロードセルは流れの方向に対し直角にセットしてあり，流れに対して直角方向の流水抵抗の成分（揚力）の検出に用いられている。

今回の実験では網張り枠の迎角を11通りに変化させて，網地の揚・抗力の測定を行なった。迎角の設定に当っては，網地抵抗測定装置を次のように操作して行なった。まず手で「網張り枠角度指示計」を廻わし，シャフトを中心にして網張り枠を回転させ，これを任意の迎角の位置にセットした。そして，網張り枠が流水抵抗により回転・変位するのを防止するために，「網張り枠旋回部クランプ金具」のネジを締めて，ハイプに網張り枠を固定した。

実験に当っては，まず網張り枠に網地をたるみがなく自然に伸びた状態で張り付けた。網張り枠に流水抵抗が掛かると，支柱はジンバル軸を中心にして前後，左右いずれの方向へも自由に変位する。その結果，流水抵抗の大きさに比例した荷重がこれら2個のロードセルに掛かる機構になっている。

いま，流速が V_0 のとき，

T_D：抗力検出用ロードセルに掛かる荷重（kgw）

T_L：揚力検出用ロードセルに掛かる荷重（kgw）

R_{D1}：網地付きの網張り枠の中心に働く抗力（kgw）

R_{L1}：網地付きの網張り枠の中心に働く揚力（kgw）

x：ジンバル軸の中心からロードセルの軸の中心までの距離（m）

y：ジンバル軸の中心から網張り枠の中心までの距離（m）

とすれば，

$$R_{D1}=\frac{T_D\cdot x}{y} \quad \cdots\cdots(1)$$

$$R_{L1}=\frac{T_L\cdot x}{y} \quad \cdots\cdots(2)$$

が成立する。したがって，実験により T_D と T_L の値を実測することができれば，(1), (2)式から R_{D1} および R_{L1} の値を計算することができる。

次に，網張り枠から網地を取り除いて網張り枠のみ（以下ではこれを空枠と云う。）の揚・抗力を上記と同じ方法で測定する。今回は各迎角毎に流速を 0.3 m/s から 0.7 m/s まで 0.05 m/s おきに増加させながら，そのときの空枠の揚・抗力を測定した。これらの測定結果を用いて，空枠の揚・抗力と流速との関係を式で表わして，空枠の揚・抗力算出のための補正式を作った。

いま，流速が V_0 のとき，

R_{D2}：補正式から計算した V_0 のときの空枠の抗力（kgw）

R_{L2}：補正式から計算した V_0 のときの空枠の揚力（kgw）

とすれば，

平面網地の抗力（R_D）$=R_{D1}-R_{D2}$ ……(3)

平面網地の揚力（R_L）$=R_{L1}-R_{L2}$ ……(4)

となり，(3), (4)式より流速が V_0 のときの平面網地の揚・抗力を計算で求めることができる。

なお，網地抵抗測定装置本体の細部構造についてはすでに第1報[1]で報告ずみなので，ここではその説明を省略することにする。

2.2 網張り枠

図2は網張り枠の製作図面を示したものである。網張り枠の本体は SUS 製のパイプで作られており，その内寸は 1 m×1 m である。今回の実験ではパイプの直径が 17.5 m/mφ および 12.0 m/mφ の2種類の網張り枠を使用した。パイプの直径が 17.5 m/mφ のものはおもに流水抵抗の大きい網地の測定に用い，その直径が 12.0 m/mφ のものは流水抵抗の小さい網地の測定に使用した。

2.3 網地抵抗測定装置に使用した荷重検出装置

網地抵抗測定装置の荷重検出に当っては動歪測定装置を使用した。表1はその仕様概要を示したものである。揚・抗力の測定に当っては容量が 5kgw から 50 kgw までの Lu-KA 型ロードセル4台を使用した。これら4台

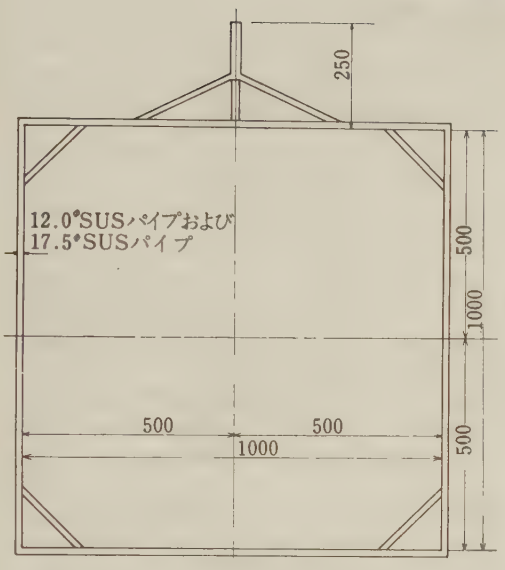


図 2 網 張 り 枠
Fram for fitting a net

のロードセルを2台ずつ適当に組み合わせて揚・抗力の測定に使用することにより，ロードセル感応部において最大 50 kgw までの荷重を精密に測定することができた。

3. 蛙又結節，貫通式無結節およびラッセル平面網地の流水抵抗測定結果

3.1 実験材料

表2は今回の実験に使用した網地の規格，直径 (d)，目合 (2ℓ)，d/ℓ 値，実験中における網地のレイノルズ数の範囲などを示したものである。実験網の規格を決めるに当っては，その d/ℓ 値がほぼ均等に分布するように心掛けるとともに，その値が 0.030～0.143 の範囲のものから選定した。一般にこの範囲の d/ℓ 値の網地について抵抗係数を測定しておけば，網漁具に働く流体力を算定する際にその結果を十分に活用することができるものと思われる。

網糸の直径と網地の目合とを測定するに当たっては，まず縮結を0の状態にして網地を垂下し，その下端に

表 1 動歪測定装置の仕様概要
Outline of hydraulic resistance determination system

機器名	型式	仕様	備考
ロードセル	共和電業 Lu-50 kA	容量 50 kgw	引張り・圧縮両用型
ロードセル	共和電業 Lu-20 kA	容量 20 kgw	引張り・圧縮両用型
ロードセル	共和電業 Lu-10 kA	容量 10 kgw	引張り・圧縮両用型
ロードセル	共和電業 Lu- 5 kA	容量 5 kgw	引張り・圧縮両用型
動歪測定器	共和電業 DPM-220 A	測定点 6点 適用ひずみゲージ 120～1,000 Ω 感度 0.2 V (5 kΩ 以上の荷重) 出力 ±5 V (5 kΩ 以上の荷重) 応答周波数範囲 0～2,000 Hz	オートバランス方式，ローパスフィルター・電源ユニット内蔵
ペン書きオシログラフ（マルチコーダー）	渡辺測器 MC 6601	測定点 6点 紙送り速度 7.5, 15, 30, 60, 75, 150, 300, 600 mm/sec & min 最大入力電圧 DC 500 V 測定レンジ 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1,000, 2,000 mv/1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 V/250mm の 16 段切換 最大ペン速度 1,000 mm/sec	

表 2 実験に使用した網地の明細

Specification of sample nets

網地の規格		網糸の直径 (d)	目合 (2ℓ)	d/ℓ	実験中の網地のレイノルズ数 (R_h) の範囲	S′/S
無結節網	ポリエチレン 60本× 36㎜	2.58㎜	38.6㎜	0.134	1.49×10^3～2.23×10^3	0.258
	60 × 45	2.58	48.8	0.106	2.02×10^3～3.03×10^3	0.206
	60 × 60	2.58	60.4	0.085	2.62×10^3～3.93×10^3	0.167
	60 × 75	2.58	74.1	0.070	3.34×10^3～5.00×10^3	0.137
	60 × 90	2.58	88.3	0.058	4.07×10^3～6.11×10^3	0.115
	60 ×105	2.58	106.6	0.048	5.02×10^3～7.53×10^3	0.096
	60 ×120	2.58	118.0	0.044	5.61×10^3～8.42×10^3	0.087
	60 ×135	2.58	132.8	0.039	6.38×10^3～9.58×10^3	0.077
	60 ×150	2.58	148.5	0.035	7.21×10^3～1.08×10^4	0.069
蛙又結節網	ポリエチレン 60本× 45㎜	2.49㎜	45.0㎜	0.111	1.74×10^3～2.61×10^3	0.258
	60 × 60	2.49	60.8	0.082	2.58×10^3～3.88×10^3	0.184
	60 × 75	2.49	75.6	0.066	3.37×10^3～5.05×10^3	0.145
	60 × 90	2.49	93.1	0.053	4.30×10^3～6.44×10^3	0.115
	60 ×105	2.49	106.7	0.047	5.00×10^3～7.51×10^3	0.100
	60 ×120	2.49	121.4	0.041	5.77×10^3～8.66×10^3	0.087
	60 ×135	2.49	134.0	0.037	6.43×10^3～9.65×10^3	0.078
	60 ×150	2.49	150.8	0.033	7.31×10^3～1.09×10^4	0.069
ラッセル網	ポリエステル 60本× 14節	1.70㎜	23.8㎜	0.143	8.97×10^2～1.35×10^3	0.276
	50 × 12〃	1.89	27.6	0.137	1.06×10^3～1.58×10^3	0.265
	60 × 11〃	1.89	31.1	0.121	1.24×10^3～1.86×10^3	0.235
	90 × 45㎜	2.23	47.1	0.094	2.00×10^3～3.00×10^3	0.185
	120 × 16節	2.58	61.6	0.084	2.68×10^3～4.02×10^3	0.164
	80 × 16節	2.08	62.0	0.067	2.80×10^3～4.20×10^3	0.132
	90 × 75㎜	2.30	77.0	0.060	3.53×10^3～5.31×10^3	0.118
	80 × 90〃	2.14	92.7	0.046	4.39×10^3～6.59×10^3	0.091
	80 ×105〃	2.15	113.7	0.036	5.48×10^3～8.22×10^3	0.075
	90 ×150㎜	2.29	154.0	0.030	7.55×10^3～1.13×10^4	0.059

〔注〕 S′/S の値は縮結量が 0.293 の時の網地面積 (S) に対する網地の射影面積 (S′) の割合を示す。

JIS 規格[2] で定められている標準初荷重の 1/2 の重さの重錘を吊り下げた。

網糸の直径はノギスを用いて測定した。ラッセル網地については各網地毎にその直径を10個所ずつ測定し，それらの平均値を計算して，その網地の直径とした。

貫通式無結節網地と蛙又結節網地については製網会社に依頼して，網糸の合糸本数が60本のものを特別に編網してもらったので，同一種類の網地については網糸の直径はほぼ一定であると考えてよいであろう。したがって，貫通式無結節網地については各網地毎に 5 個所ずつその直径を測定し，5 個× 9 枚＝45個の測定値の平均を求めて，その網地の直径とした。また，蛙又結節網地についても同様に 5 個× 8 枚＝40個の測定値の平均を求めて，その網地の直径とした。

表から明らかなように，貫通式無結節網地と蛙又結節網地との網糸の合糸本数はいずれも60本であるが，その直径の測定値は後者が前者に比べて 3.5％ ほど細くなっている。このように両者間に直径の差異が生じたのは貫通式無結節網が 2 ストランドから構成されているのに対し，蛙又結節網は 3 ストランドから構成されているためと考えられる。

目合の測定に当っては各実験網毎にスケールを用いて

測定した。まず5目の長さを10個所ずつ測定し，これらの平均値を計算して，その網地の目合とした。また表中には実験中の網地のレイノルズ数（R_h）の範囲が示されているが，この R_h は hydraulic mean depth にもとずいて計算されたレイノルズ数である[3),4)]。

いま，

h：hydraulic mean depth（m）

V：流速（m/s）

ν：動粘性係数（m^2/s）

$S1$：網地の1目の面積（m^2）

φ；網地の1目当たりの面積に対する1目当たりの網糸の射影面積の比（$=S'/S$）

l：1脚1結節の長さ（m）

とすると，

$$h=\frac{S1\cdot(1-\varphi)}{4l} \quad \cdots\cdots(5)$$

$$R_h=\frac{hV}{\nu}=\frac{S1\cdot(1-\varphi)V}{4l\nu} \quad \cdots\cdots(6)$$

で与えられる。木村等[4)]は h について，これは網地1目の空隙面積を網目の周長で割った値で，長さの次元をもち，水理学でいう管水路の径深に相当するものであると述べている。なお，本稿では水温 22° のときの ν の値を用いて R_h の値を計算した。

3.2 実験方法

実験に当っては水産工学研究所所属の曳航水槽（60 m×4 m×2 m）上の台車に網地抵抗測定装置を設置し，台車を一定速度で走らせて網張り枠の中心に流れを当てた。この場合この流水抵抗の大きさに比例した荷重が2台のロードセルに掛かるので，動歪測定装置を用いてこれらの荷重を測定した。網張り枠の中心に掛かる揚・抗力の算定には(1)，(2)式を用いた。今回の実験では 12 m/mϕ の網張り枠を使用して測定を行なったときは x=1.115 m, y=2.076 m となり，17.5 m/mϕ の網張り枠を使用したときは x=1.115 m，y=2.087 m であったので，換算式には次式を用いた。

(A)　12 m/mϕ の網張り枠を使用したときの換算式

R_{D1} および $R_{D2}=0.5371\,T_D$ ……(1)

R_{L1} および $R_{L2}=0.5371\,T_D$ ……(2)

(B)　17.5 /mmϕ の網張り枠を使用したときの換算式

R_{D1} および $R_{D2}=0.5343\,T_D$ ……(1)″

R_{L1} および $R_{L2}=0.5343\,T_L$ ……(2)

また，今回の実験では実験条件を次のごとく決めた。

① 網張り枠に網地を張り付けるに当っては，その縮結量を 0.293 に設定した。これは網地の脚の交差角度がちょうど 90° になる値である。

② 網地が流れの方向となす角度，即ち網地の迎角の値は 90°, 80°, 70°, 60°, 50°, 45°, 40°, 30°, 20°, 10° および 0° の11段階に設定した。

③ 実験流速は各網とも 0.4 m/s，0.5 m/s および 0.6 m/s の3水準に設定した。

④ 蛙又結節網地および貫通式無結節網地では網の表裏の形状が互いに対称形をなしているのに対し，ラッセル網地では網糸の断面形状が複雑な形をしており，その表裏の形状は非対称である。今回の実験ではラッセル網地の「裏」の方向から流れを当てて測定を行なった。

なお，この実験は1981年9月9日から10月4日に亘って行なわれたが，その期間中における実験水温は 20.4 ℃～23.6 ℃ であった。

3.3 平面網地の抗力係数と揚力係数

平面網地を定常流の中に置くと，その網地の中心に流水抵抗が働く。

いま

R：流水抵抗（kgw）

C_R：網地の抵抗係数

ρ：水の密度（$kgw\cdot s^2/m^4$）

S：網地の面積（m^2）

V：流速（m/s^2）

とすれば，

$$R=\frac{1}{2}C_R\rho SV^n \quad \cdots\cdots(7)$$

で与えられる。流水抵抗 R は低いレイノルズ数の領域ではストークスの抵抗則に従い流速に比例するが，高いレイノルズ数の領域では流速の2乗に比例することが知られてい。藤田等[5),6)]は格子状に張った網地の流水抵抗はレイノルズ数が 4.5×10^2～7.5×10^2 の範囲で流速の指数 n が1から2に遷移することを報告している。今回の実験ではレイノルズ数がこれらの数値を上廻っているので，R は流速の2乗に比例するものとした。

平面網地に掛かる揚・抗力についてこれらの関係を検討してみると，次のようになる。

いま，

R_D：網地の抗力（kgw）

R_L：網地の揚力（kgw）

C_D：網地の抗力係数

C_L：網地の揚力係数

とすれば，

$$R_D=\frac{1}{2}C_D\rho SV^2=\frac{102}{2}C_D\rho SV^2 \quad \cdots\cdots(8)$$

$$R_L=\frac{1}{2}C_L\rho SV^2=\frac{102}{2}C_L\rho SV^2 \quad \cdots\cdots(9)$$

となる。したがって，(8)，(9)式を変形すると

$$C_D=\frac{2R_D}{\rho SV^2} \quad \cdots\cdots(8)'$$

$$C_L=\frac{2R_L}{\rho SV^2} \quad \cdots\cdots(9)'$$

となり，式中の R_D と R_L との値が実験により測定されれば，C_D および C_L の値は計算で求めることができる。

3.2 で述べたように，今回は実験流速を 0.4 m/s，0.5 m/s および 0.6 m/s の3水準に設定したので，その都度，(8)′，(9)′式を用いて C_D および C_L の値を計算した。これら各流速に対応する C_D および C_L の値はこれらの流速の範囲内ではほとんど一定であったので，これら3個の値の平均値を求めて，その網地の C_D および C_L の値とした。

一般に，平面網地の揚・抗力係数は網地の迎角，網地の縮結量，網地の d/ℓ 値および網地のレイノルズ数の値の関数であると考えられている。今回は網地の縮結量を 0.293 に固定して，11通りの網地の迎角に対して網地の d/ℓ 値とその揚・抗力係数との関係を解明した。

今回の実験において，特に留意しなければならないことが2点ある。まず第1点は平面網地の揚・抗力を計算する際に S として網地の射影面積の代りに，網地面積を用いたことである。これは，現場の漁業者が平面網地の揚・抗力を計算するときに，S として網地面積を用いたほうが計算が簡便になると考えたからである。第2の点は網張り枠に張り付けた平面網地に流れを当てた際，網地は流れに対し変形を起こし，その中心付近でやや袋状となって厳密な意味での平面とはならなかったことである。これは網張り枠を用いて網地の揚・抗力を測定する限り，避けることができない実験手法上の欠陥と云えよう。この網地の変形は揚力係数の値に顕著な影響を与えているものと思われる。

3.4　平面網地の抗力係数の測定結果

図3-1～図3-11は蛙又結節，貫通式無結節およびラッセル平面網地において，網地の d/ℓ 値とそれに対応する抗力係数（$C_{D\theta}$）の値との関係を示したものである。11枚の図は網地の迎角が 90°，80°，70°，60°，50°，45°，40°，30°，20°，10° および 0° のときの抗力係数の値を示している。

図から明らかなように，網地の迎角が 90°～50° の範囲では，網地の d/ℓ 値に対応する $C_{D\theta}$ の値は，蛙又結節網地＞ラッセル網地＞貫通式無結節網地　の順になっている。しかしながら，蛙又結節網地とラッセル網地に限って云えば，網地の迎角が 45° 以下になると両者の

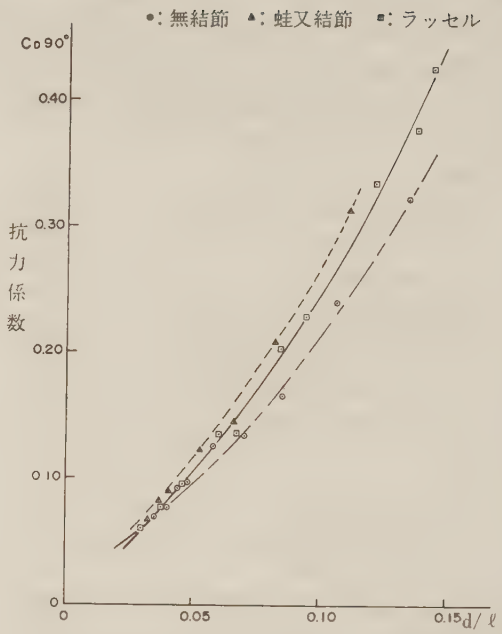


図 3-1　迎角が 90° のときの抗力係数の値

Relationship between values of d/ℓ and drag coefficients keeping attack angle at 90°

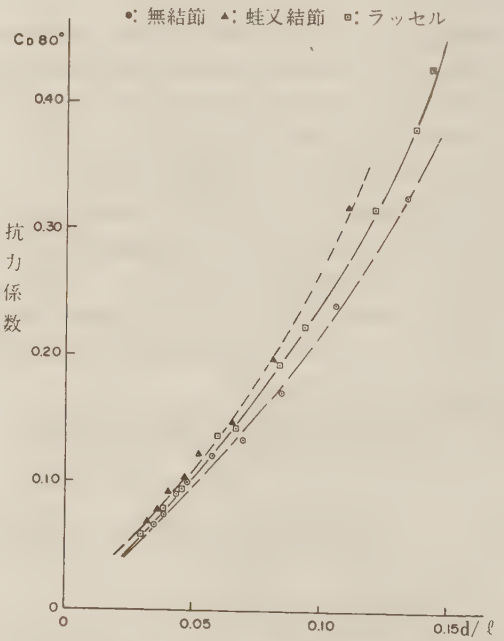


図 3-2　迎角が 80° のときの抗力係数の値

Relationship between values of d/ℓ and drag coefficients keeping attack angle at 80°

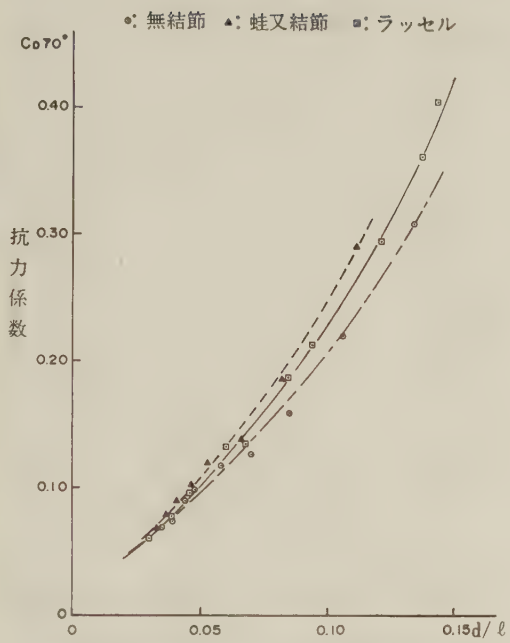


図 3-3 迎角が 70° のときの抗力係数の値

Relationship between values of d/ℓ and drag coefficients keeping attack angle at 70°

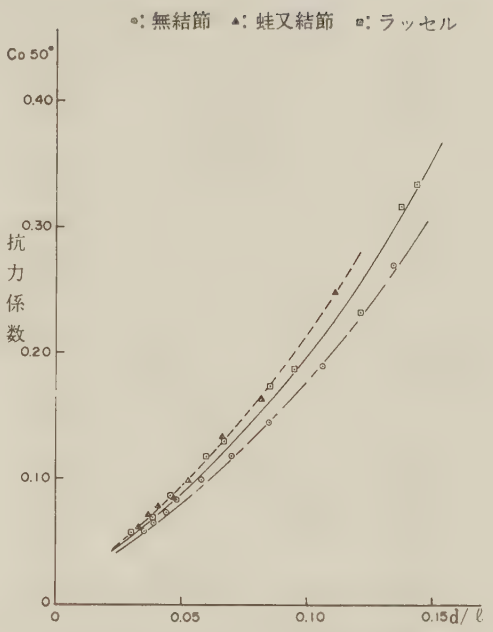


図 3-5 迎角が 50° のときの抗力係数の値

Relationship between values of d/ℓ and drag coefficients kkeeping attack angle at 50°

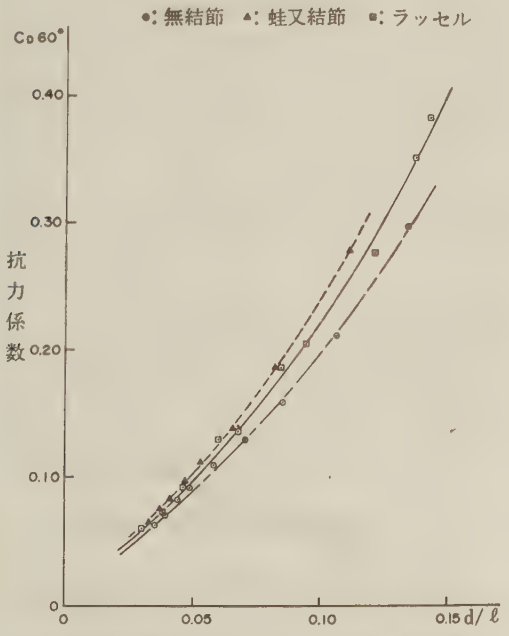


図 3-4 迎角が 60° のときの抗力係数の値

Relationship between values of d/ℓ and drag coefficients keeping attack angle at 60°

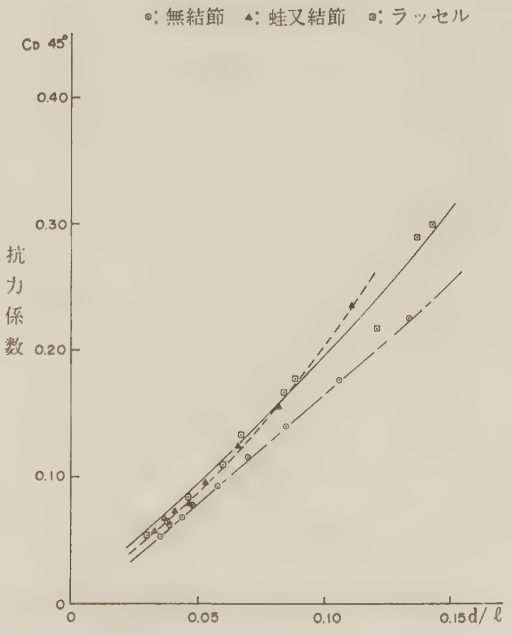


図 3-6 迎角が 45° のときの抗力係数の値

Relationship between values of d/ℓ and drag coefficients keeping attack angle at 45°

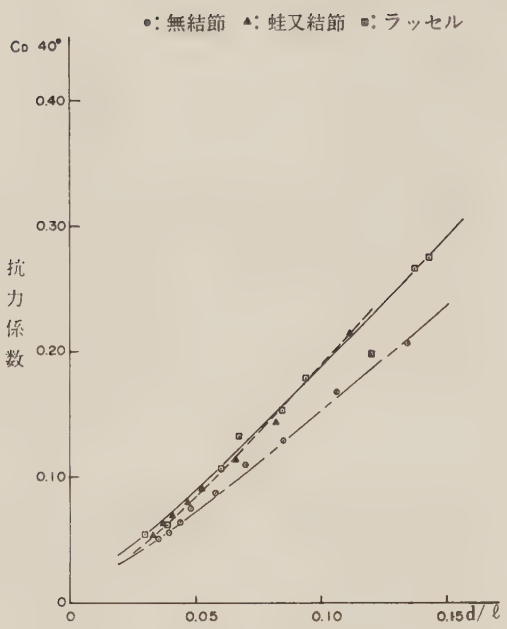


図 3-7 迎角が 40° のときの抗力係数の値

Relationship between values of d/ℓ and drag coefficients keeping attack angle at 40°

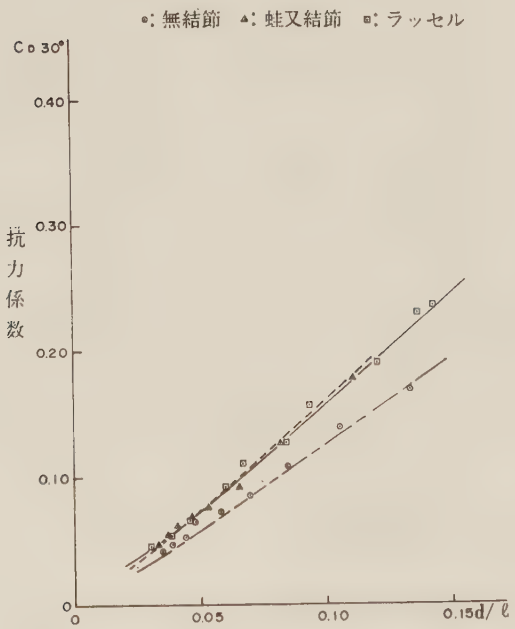


図 3-8 迎角が 30° のときの抗力係数の値

Relationship between values of d/ℓ and drag coefficients keeping attack angle at 30°

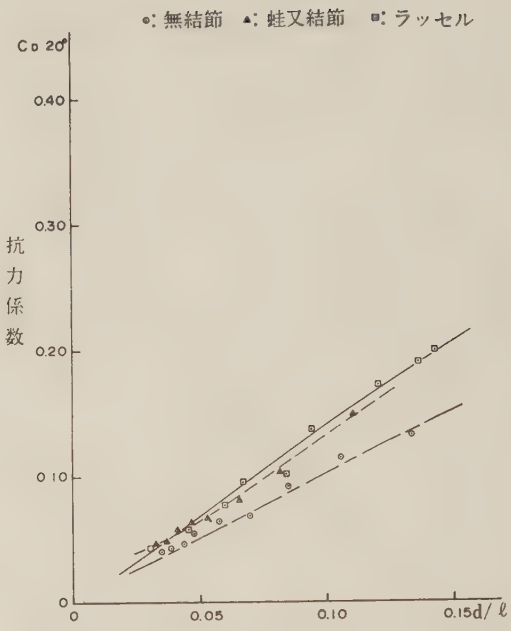


図 3-9 迎角が 20° のときの抗力係数の値

Relationship between values of d/ℓ and drag coefficients keeping attack angle at 20°

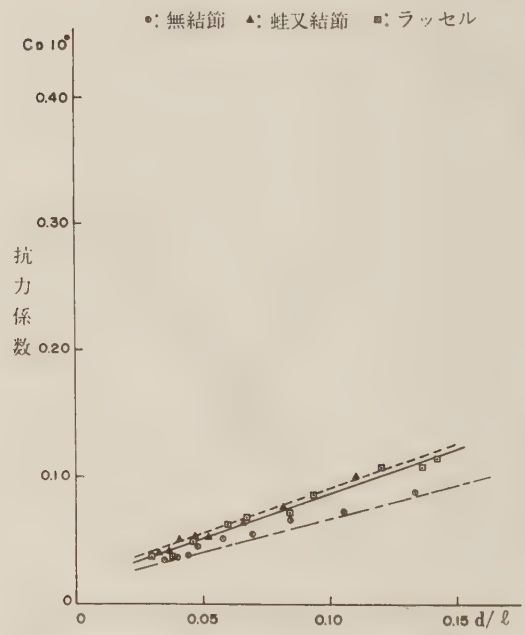


図 3-10 迎角が 10° のときの抗力係数の値

Relationship between values of d/ℓ and drag coefficients keeping attack angle at 10°

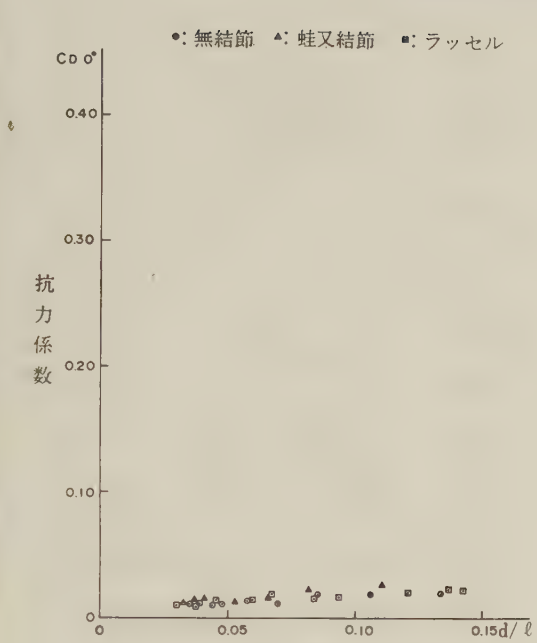


図 3-11　迎角が 0° のときの抗力係数の値

Relationship between values of d/ℓ and drag coefficients keeping attack angle at 0°

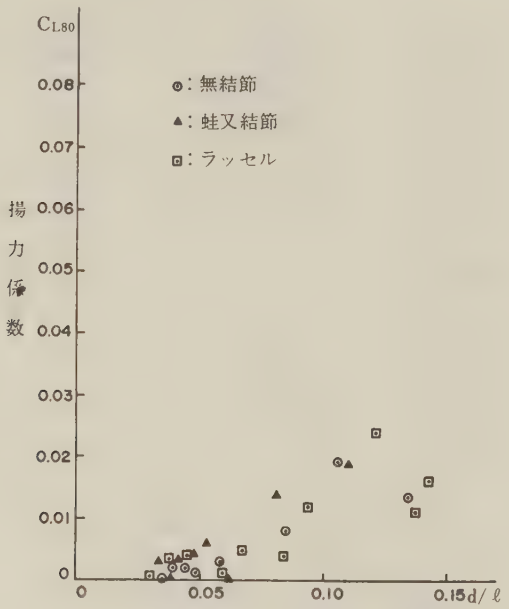


図 4-1　迎角が 80° のときの揚力係数の値

Relationship between values of d/ℓ and lift coefficients keeping attack angle at 80°

抗力係数の大きさの順位はくずれはじめ，両者の抗力係数はほぼ接近した値をとる傾向が見られた。この理由は明確ではないが，次の事項が考えられる。即ち，両者の網糸の断面形状を比較すると，ラッセル網地は蛙又結節網地に比べて複雑な形をしているため，網地の迎角が減少するにしたがいその抗力係数の減少割合が小さくなるのではないかと思われる。この点については，今後回流水槽において網地の流線観測を行ない，その原因を究明して行きたい。

平面網地の抗力の値を算定するに当っては，まず網地の d および ℓ の値を測定し，その網地の d/ℓ 値を計算する。次に網地の迎角の値が決まれば，該当する迎角における抗力係数 ($C_{D\theta}$) の値は図 3 を用いて推定できる。最後に，この推定値を(8)式に代入すれば，平面網地に働く抗力の値を計算で求めることができる。

3.5　平面網地の揚力係数の測定結果

図 4-1～図 4-9 は蛙又結節，貫通式無結節およびラッセル平面網地における網地の d/ℓ 値とそれに対応する揚力係数 ($C_{L\theta}$) の値との関係を示したものである。9 枚の図は網地の迎角がそれぞれ 80°, 70°, 60°, 50°, 45°, 40°, 30°, 20° および 10° のときの揚力係数の値を示している。

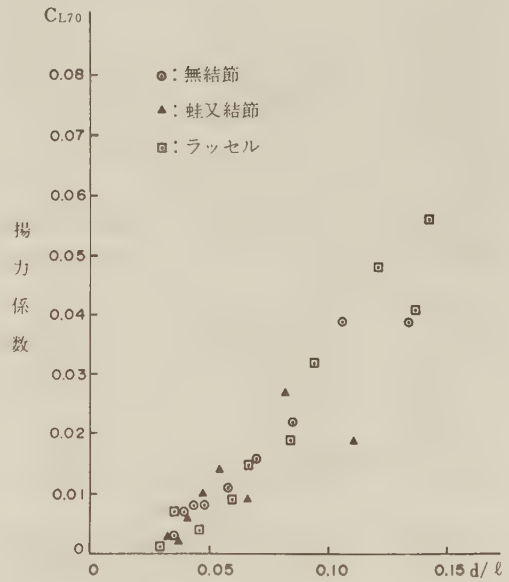


図 4-2　迎角が 70° のときの揚力係数の値

Relationship between values of d/ℓ and lift coefficients keeping attack angle at 70°

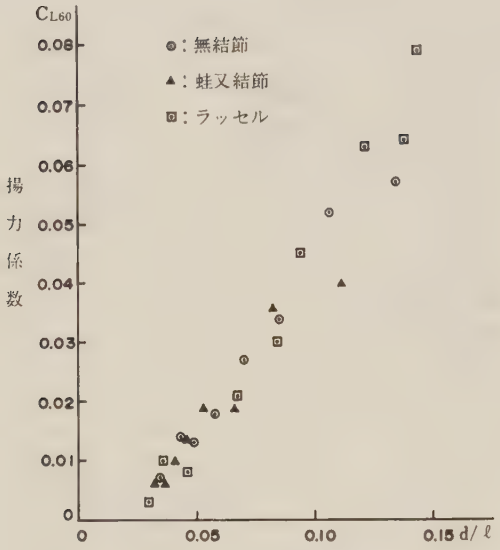


図 4-3 迎角が 60° のときの揚力係数の値
Relationship between values of d/ℓ and lift coefficients keeping attack angle at 60°

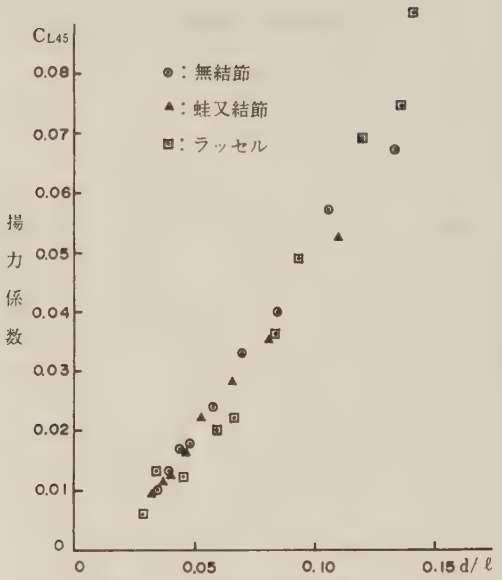


図 4-5 迎角が 45° のときの揚力係数の値
Relationship between values of d/ℓ and lift coefficients keeping attack angle at 45°

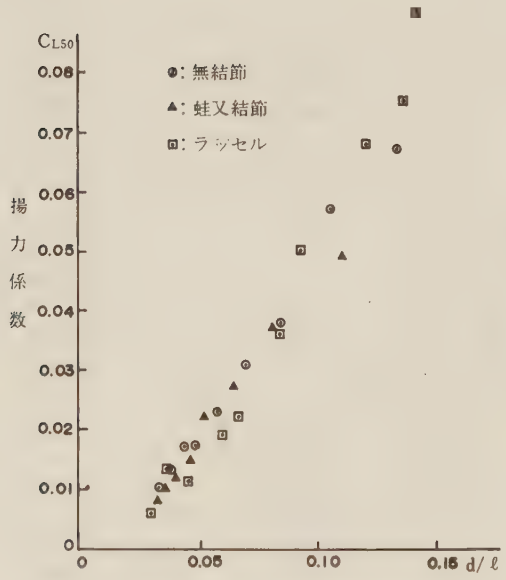


図 4-4 迎角が 50° のときの揚力係数の値
Relationship between values of d/ℓ and lift coefficients keeping attack angle at 50°

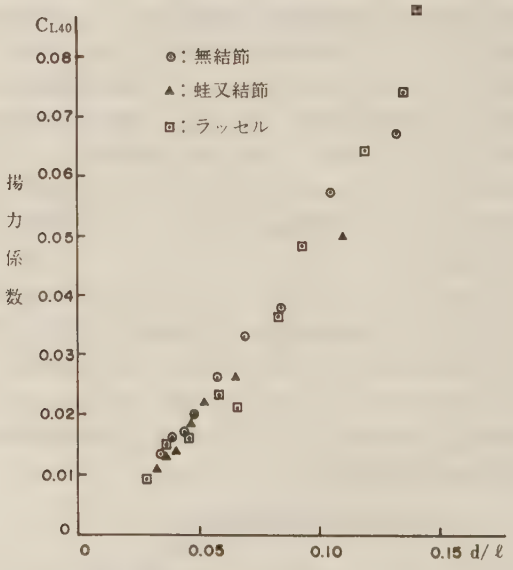


図 4-6 迎角が 40° のときの揚力係数の値
Relationship between values of d/ℓ and lift coefficients keeping attack angle at 40°

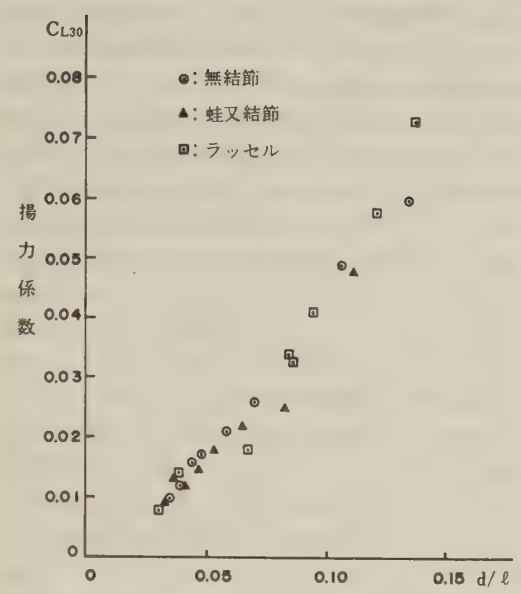


図 4-7　迎角が 30° のときの揚力係数の値

Relationship between values of d/ℓ and lift coefficients keeping attack angle at 30°

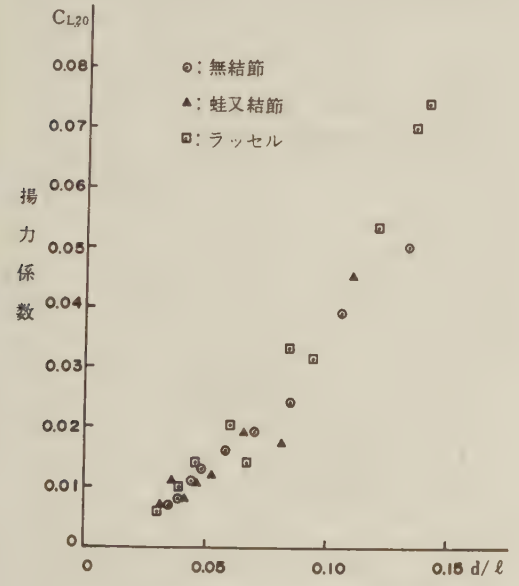


図 4-8　迎角が 20° のときの揚力係数の値

Relationship between values of d/ℓ and lift coefficients keeping attack angle at 20°

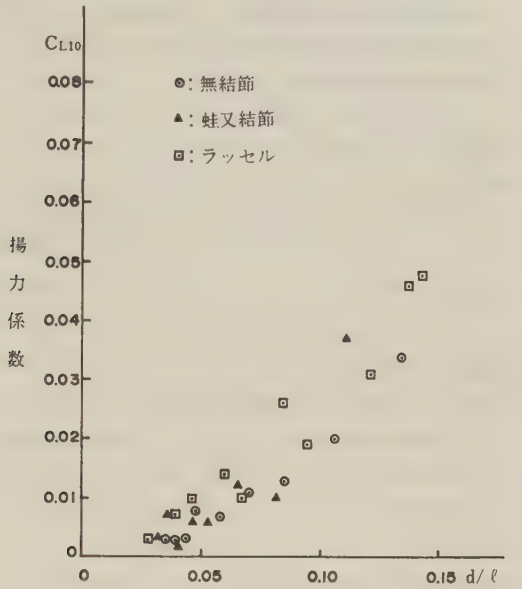


図 4-9　迎角が 10° のときの揚力係数の値

Relationship between values of d/ℓ and lift coefficients keeping attack angle at 10°

図から明らかなように，網地の迎角が 45° または 50° のとき，これら 3 種類の網地の揚力係数の値はいずれも最大となる。一方，迎角の値が 45° または 50° から離れて行くにしたがって，揚力係数の値は次第に減少して行く。また，抗力係数の場合と異なり，これら 3 種類の網地の間には $C_{L\theta}$ の値の大小関係は明瞭に認められなかった。特に網地の迎角が10° および 80° のときには測定値のバラツキが顕著であった。この原因としては流水抵抗により網地の中心部がやや袋状に変形することや，空枠の揚力の測定に当って空枠に振動が生じ空枠の揚力に測定誤差が含まれることなどが考えられる。

平面網地の揚力の値を算定するに当っては，3.4 においてすでに述べた抗力の値の算定法に準じて行なえばよい。この際は(9)式を用いることになる。

3.6　網地の迎角が 90° のときに網地の射影面積にもとづいて計算された抗力係数の値

前述の 3.3 で述べた平面網地の抗力係数は網地面積 (S) を使って計算されたものである。ここでは，いわゆる流体力学における抗力係数の定義式に使われている物体の射影面積の概念（この場合は網地の射影面積）を用いて，網地の抗力係数を再計算してみることにする。

いま

R_D：網地の抗力（kgw）

C'_D：網地の射影面積にもとずく抗力係数
ρ：水の密度（kgw·s²/m⁴）
S'：網地の射影面積（m²）
V：流速（m/s）
とすると，

$$R_D=\frac{1}{2}C'_D\rho S'V^2 \quad \cdots\cdots(10)$$

となり，さらに(10)式を変形して C'_D を求めてみると

$$C'_D=\frac{2R_D}{\rho S'V^2} \quad \cdots\cdots(10)'$$

となる。本稿では網地の迎角が 90° のときの C'_{D90} の値に限定して検討を行なうことにする。

一般に網地面積（S）と網地の射影面積（S′）との比は1目当りの網地面積（S1）と1目当りの網地の射影面積（S1′）の比に等しくなる。したがって，C_{D90} の値から C'_{D90} の値を再計算するに当っては S1′/S1 の値が明らかになればよい。

図5から明らかなように，1目当りの網地面積（S1）は

$$S1=2l^2\sin 45°\cdot\cos 45° \quad \cdots\cdots(11)$$

で計算することができる。また，貫通式無結節網地およびラッセル網地の1目当たりの射影面積（$S1'$）については

$$S1'=2ld-\frac{d^2}{2} \quad \cdots\cdots(12)$$

で計算できる。一方蛙又結節網地は特に結節部を有するため，万能投影器（オリンパス製 Model up-560 S）を用いて図中の β（結節部）に相当する部分の面積を測定し，この面積に(12)式から計算された網脚の部分の面積を加算して，蛙又結節網地の1目当たりの射影面積とした。

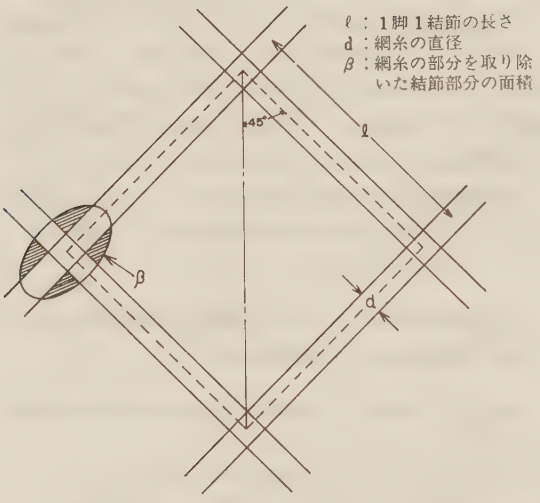


図5　縮結量が0.293のときの網地1目の形状

Shape of one mesh of the net hung in 0.293

図6は蛙又結節網地，貫通式無結節網地およびラッセル網地において，網地の迎角が 90° のときの網地の射影面積を用いて計算された抗力係数の値を示したものである。図中の横軸の値は網地面積に対する網地の射影面積の比（S′/S）を示しており，縦軸の値は網地の射影面積にもとずいて計算された抗力係数の値を示している。

なお，各実験網の S′/S の値については表2を参照されたい。

図から明らかなように，S′/S の値が 0.07～0.15 の範囲内においては各網地とも C'_{D90} の値はほぼ1.0～1.1の範囲にあるが，S′/S の値が大きくなるにしたがい C'_{D90} の値は次第に増大して行く傾向が見られる。また S′/S の値に対応する C'_{D90} の値はラッセル網地のほうが蛙又結節網地および貫通式無結節網地より大きな値を示している。これは蛙又節結網地および貫通式無結節網地では網糸の断面形状がほぼ円形であるのに対し，ラッセル網地では台形状の複雑な形状をなしていることに関連があるのではないかと思われる。

4. 結　　語

新たに試作した網地抵抗測定装置を使用して，蛙又結節，貫通式無結節およびラッセル平面網地の揚・抗力係

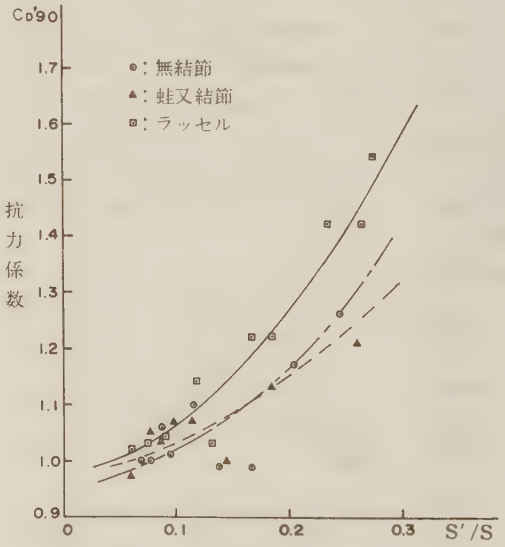


図6　迎角が 90° のときに網地の射影面積にもとづいて計算された抗力係数の値

Relationship between values of s′/s and drag coefficients based on projected area of nets keeping attack angle at 90°

数を測定し，図 3-1～図 3-11（抗力係数）および図 4-1～図 4-9（揚力係数）に示すような結果を得た。これらの図を使えば，任意の迎角における各種平面網地の揚・抗力係数の値を推定することができる。したがって，これらの揚・抗力係数の推定値を(8)，(9)式に代入すれば，各種平面網地（縮結量 0.293）の揚・抗力を計算により算定することが可能となる。

今後はこれら各種類の平面網地について縮結量の違いが網地の揚・抗力に及ぼす影響を検討して行きたい。

参考文献

1) 大沢要一・森　敬四郎・田原陽三：平面網地の流水抵抗に関する研究 I，水工研報告，3，1982

2) 日本工業規格：合成繊維漁網試験方法，1973

3) 宮崎芳夫・高橋　正：網地の流体抵抗に関する基礎研究—(III)，Journal of the Tokyo University of Fisheries, 50(2)，1964

4) 木村晴保・宗景志浩：養殖施設の部材流水抗力及び係留索張力の算定法に関する研究，沖合漁場利用養殖技術開発試験　昭和56年度研究報告（高知県水試），1982

5) 今井健彦：平面網地の流水抵抗に関する基礎的研究—IV，日水誌，45(10)，1979

6) 藤田　博・横田敏之：網地の水中に於ける抵抗に就て—I，応用物理，20(2)，1950

Studies on Resistance of Plain Net against Flow of Water Ⅱ

On Result of Experiment on Drag Coefficients and Lift Coefficients of Trawler Knot Nets, Knotless Nets and Raschel Nets

By

Yoichi Osawa, Yozo Tawara and Keishiro Mori

Summary

The authers devised and made an experimental apparatus to measure the hydraulic resistance of plain nets. Using this apparatus, we carried out the measurement of drag force and lift force on trawler knot nets, knotless nets and raschel nets against flow of water.

In the experiment, each sample net which was fitted to a fram was hung in 0.293 and the attack angle of the sample nets was 90°, 80°, 70°, 60°, 50°, 45°, 40°, 30°, 20°, 10° and 0° respectively.

The drag coefficient and the lift coefficient were caliculated using the data obtained from the experiments.

These value were shown in Figs. 3 and 4. Giving these coefficients, we can get drag force and lift force of every plain trawler knot nets, knotless nets and raschel nets hung in 0.293 by the following formulae.

$$R_D = \frac{1}{2} C_{D\varphi} \rho S V^2$$

$$R_L = \frac{1}{2} C_{L\varphi} \rho S V^2$$

Where R_D : Drag force of the plain net (kgw)
R_L : Lift force of the plain net (kgw)
$C_{D\varphi}$: Drag coefficient
$C_{L\varphi}$: Lift coefficient
ρ : Density of water (102 kgw·sec^2/m^4)
S : Area of the plain net (m^2)
V : Current velocity (m/sec)

水工研報告 4
1983 pp. 197～220

スキャンニングソナーによる定置網漁場の魚群行動調査……I

——小八幡漁場，江ノ浦漁場に於ける魚群行動——

田原陽三*・井上喜洋**・森　敬四郎***

目　次

1. 緒言 ……197
2. 調査の方法 ……197
3. 調査の結果 ……198
4. 結言 ……218
5. 参考文献 ……218
Summary ……220

1. 緒　言

定置網に対する魚群行動調査にスキャンニングソナーを利用することを昭和56年5月に試み前報にその結果を報告した。スキャンニングソナーによる方法も種々の問題点が残されているが，現段階では定置網周辺に来游する魚群行動を自然の状態で把握出来る最も良い方法の一つと考えられる。本報では相模湾の小八幡漁場，江ノ浦漁場に於いて魚群の行動調査を行った結果について報告する。

尚本調査は漁業生産工学部，神奈川県水産試験場相模湾支所および神奈川県定置漁業研究会が協同して行った。

2. 調査の方法

前報と同様に調査船「たか丸」（約50トン，水工研所属）にスキャンニングソナー（KSS-180，海上電機製）を装備して，垣網の前面に固定し，主として垣網前面の魚群行動を昼夜連続して調査した。

調査した漁場は図1に示すように相模湾の小八幡漁場と江ノ浦漁場で図2****，図3***** に示すように「たか丸」を夫々の漁場に固定した。

指示器のブラウン管上に現われる映像は刻々と変化し消えてしまうので，前報と同様の方法で VTR で録画した。魚群行動の解析をするために録画した映像を再生して約5秒間隔でスチールカメラで撮影した（写真1参照）。これらの写真から魚群の行動の概要が把握出来るように魚群の移動状態をおゝざっぱにプロットし模式図を作成した（図4，図6参照）。同一時刻に幾つかの魚群が現われることがあるが，模式図を作成する場合同一図上に幾つもの魚群の動きをプロットすると輻奏するの

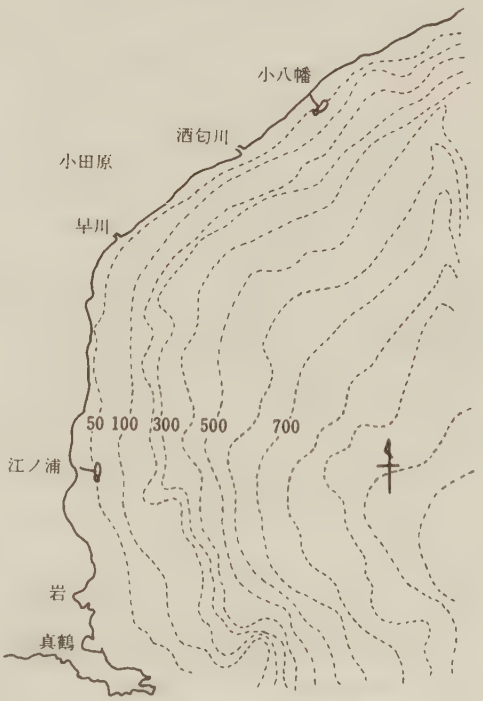


図 1　調査した定置網漁場
Fig. 1　Fishing Ground

* 漁業生産工学部，** 神奈川県水産試験場相模湾支所，*** 国際協力事業団　神奈川国際水産研修センター
**** 小八幡漁場は2図に示すように片落し網であるが運動場側には中層網が取り付けてある。
**** 江ノ浦漁場は図3に示すように普通の片落し網である。

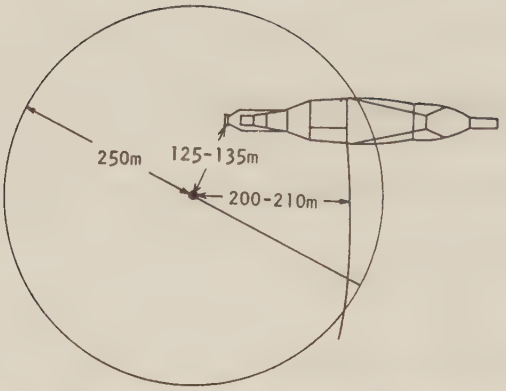


図 2 調査船の設置位置（小八幡漁場）
Fig. 2 Anchoring position of research vessele (Koyawata)

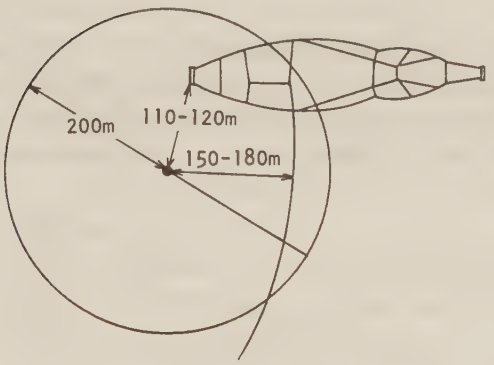


図 3 調査船の設置位置（江ノ浦漁場）
Fig. 3 Anchoring position of research vessele (Enoura)

で，合流したり，分離したりするような特に関係の深い魚群の動きのみを同一図上にプロットするようにした。またプロットの間隔を余り短かくすると魚像が重ってしまい魚群の形状が不明瞭になるので1分～3分ぐらいの間隔でプロットした。尚スチール写真だけでは魚像とノイズとの判別が困難な場合があるので，模式図の作成に当っては必要に応じて VTR を再生して魚像の動きをチェックした。

魚群の形状は常に一定ではないので魚像の形状も複雑に変化する。また魚群の移動方向もまちまそである。従って魚群の移動距離を求める際に魚群の群形の変化と移動方向との組合せによってはどの部分をもって移動距離と見做してよいのか分らない場合がある。こゝでは魚群の中心部の移動距離をもって代表値とした。魚群の移動距離とこれに要した時間を求め游泳速度を推定した（図4，図6の附表参照）。

指示器のブラウン管上に現われる魚像から魚種の判別をすることは困難であるので魚種についてはその網の漁獲物から推定し，その網に漁獲がない場合は周囲の漁場の様子から推定した。

魚群量については映像から推定することは困難であるので本報では取り扱わず，魚群の動きのみについて報告する。

前報でも述べたように時化た場合海底や海面からの反射ノイズが多くなり映像の解読が困難となる。また魚群が小さい場合もノイズか魚群かの判別が困難である。したがって映像の状態を観察して魚像と思われる映像のみを取り扱うことにした。

3. 調査の結果

調査の期間中両漁場とも魚群の来游が少く，数多くの魚群の映像が得られなかったので満足出来るような結果は得られなかったが，定置網前面に於ける魚群行動の一端を知ることが出来た。

1） 小八幡漁場

調査は昭和56年9月25日～10月5日の間に行われたが，この間殆んど魚群の来游がなく，魚群の映像は僅か5例のみしか得られなかった。これらの魚群行動の模式図を図4－1～図4－5に示す。

僅か5例のみで云々することは困難であるが，全般的にみて魚群の動きは海底地形（等深線）と関係が深いようである。入網したと思われる事例もなく，漁獲もないので魚種は分らないが周囲の漁場の様子からみてイワシあるいはアジの小群ではないかと思われる。

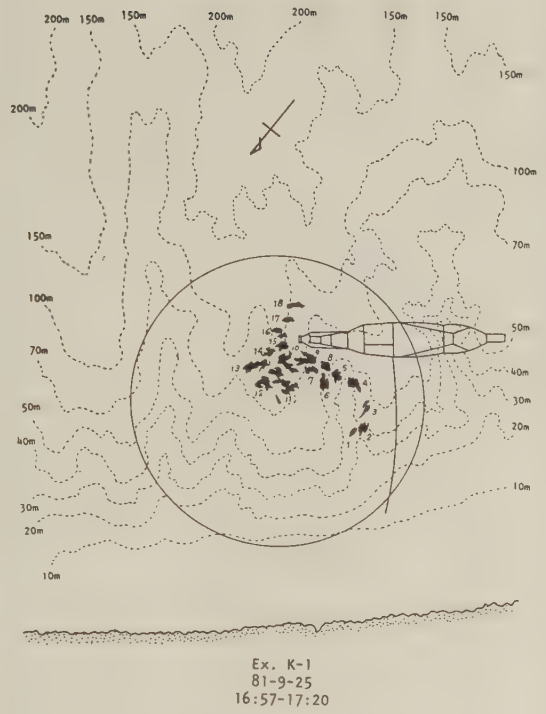
魚群の游泳速度は Ex. K-5 で平均が 0.56 m/s（約1.1ノット）であるが，その他の例では1ノット以下である。

図5に5例をまとめて図示すると小八幡漁場では前面の深み沿いに魚群が動く傾向がみられる。

前面の深みから垣網までの距離，深みに対する垣網の角度，身網の角度，沖出しなどの問題について検討の余地があるのではないかと思われる。しかし，今回の調査ではこれらの問題について充分検討するだけの基礎資料が得られなかった。

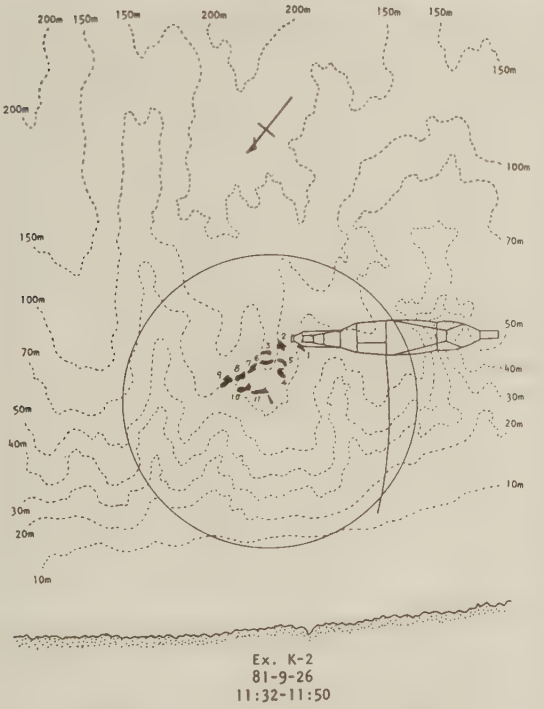
2） 江ノ浦漁場

調査は昭和56年10月6日から10月16日の間に行われた。この間魚群の行動が分るような映像例は22例得られた。これらの魚種については明瞭ではないが漁獲物から見て10月6日23時から7日00時にかけての魚像はイワシが主で，7日17時頃の魚像はメジのようで，14日23時頃の魚像はサンマのようで，15日16時頃の魚像はサバあるいはソーダガツオではないかと思われる。イワシと思われるものは22例中13例で大半を占めている。夫々の魚種



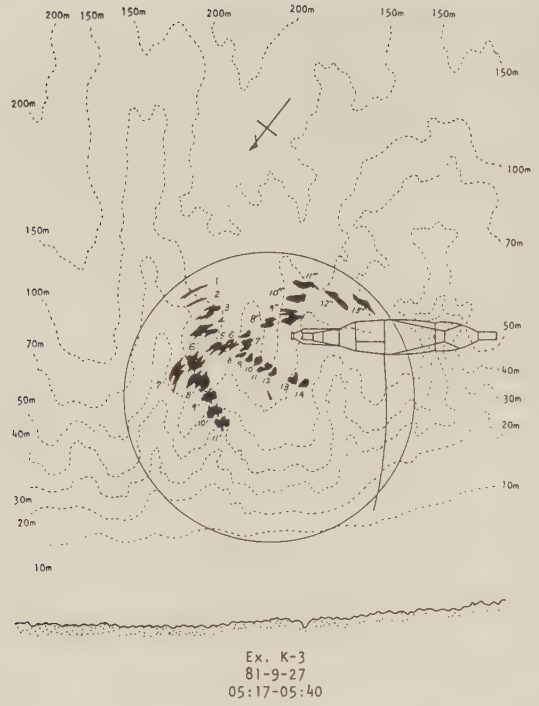
番号	時刻 時分秒	経過時間 秒	移動距離 m	游泳速度 m/s	備考
1	16:56:50				垣網の中ほど(羽口から約125 m)から垣網に添い(垣網から55～60 m離れて)羽口に向ったが羽口から約50 mくらいの所から台の方へ向い更に「たか丸」に近寄ってから台の東側を通って沖へ去った。等探線と可成り関係があるような魚群の行動である。(イワシ? アジ?)
2	:57:40	50	16	0.32	
3	:59:05	85	35	0.41	
4	17:00:20	75	44	0.59	
5	:01:45	85	30	0.35	
6	:02:35	50	30	0.60	
7	:03:30	55	30	0.55	
8	:04:05	35	30	0.86	
9	:05:55	110	33	0.30	
10	:07:30	95	38	0.40	
11	:08:35	65	35	0.54	
12	:11:00	145	39	0.27	
13	:13:05	125	35	0.28	
14	:16:30	265	30	0.11	
15	:17:20	50	30	0.60	
16	:18:10	50	15	0.30	
17	:19:10	60	25	0.42	
18	:20:05	55	28	0.51	
	全行程	1455	523	0.36	

図 4-1　魚群の動き（小八幡漁場）　Fig. 4-1　Movement of fish school (Koyawata)



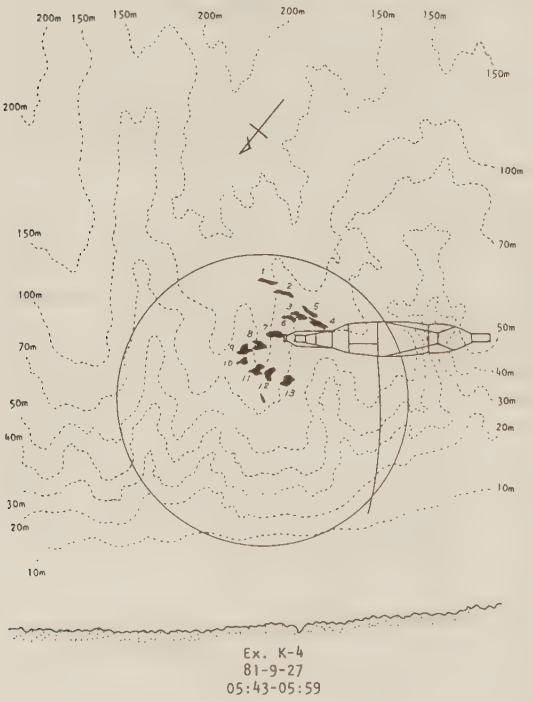
番号	時刻 時分秒	経過時間 秒	移動距離 m	游泳速度 m/s	備考
1	11:32:40				Ex.K-1の残留群と思われるものが現われ「たか丸」の近くまで来たが、沈下したためかその後の動きは不明である。(イワシ? アジ?)
2	:34:20	100	36	0.36	
3	:35:30	70	30	0.43	
4	:36:30	60	38	0.63	
5	:38:00	90	20	0.22	
6	:39:55	115	25	0.22	
7	:41:25	90	25	0.28	
8	:42:30	65	25	0.38	
9	:45:10	160	29	0.18	
10	:48:45	215	33	0.15	
11	:50:00	75	30	0.40	
	全行程	1040	291	0.28	

図 4-2　魚群の動き（小八幡漁場）　Fig. 4-2　Movement of fish school (Koyawata)



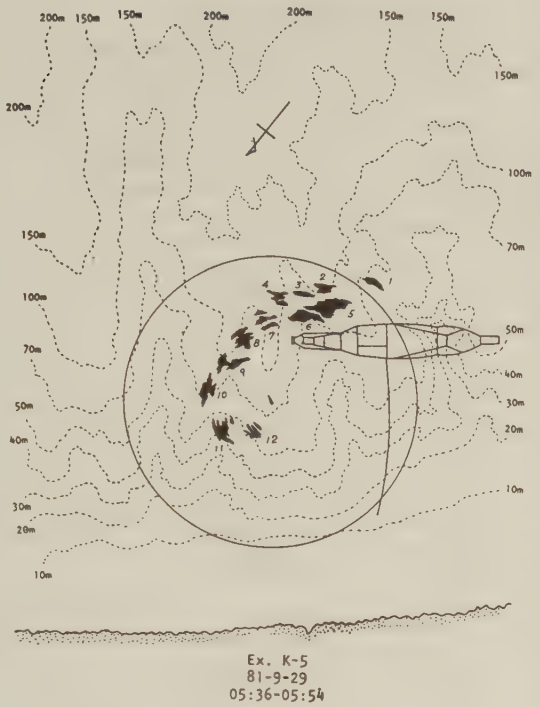
番号	時刻 時 分 秒	経過時間 秒	移動距離 m	游泳速度 m/s	備考
1	05:17:00				台の東側の深みから差し込んだ魚群は台の東側で3群に分れ1群は網の神に逸れ、他の2群は垣網前面に向ったが何れも「たか丸」の近くで見失ないその後の動きは不明である。(イワシ? アジ?)
2	:18:00	60	20	0.33	
3	:19:05	65	30	0.46	
4	:20:35	90	30	0.33	
5	:23:00	145	34	0.23	
6	:25:10	130	25	0.19	
7	:27:25	135	33	0.24	
8	:29:50	145	20	0.14	
9	:31:40	110	19	0.17	
10	:33:20	100	16	0.17	
11	:35:05	105	18	0.17	
12	:36.45	100	16	0.16	
13	:38:50	125	35	0.28	
14	:39:45	55	20	0.36	
6′	:25:25	5から145	43	0.30	
7′	:27:40	135	30	0.22	
8′	:34:30	410	44	0.11	
9′	:36:45	135	29	0.21	
10′	:37:50	65	40	0.62	
11′	:39:10	80	40	0.50	
8′	:29:50	7から145	38	0.26	
9′	:31:35	105	40	0.38	
10′	:33:10	95	28	0.29	
11′	:36:20	170	40	0.23	
12′	:38:30	130	65	0.50	
13′	:39:45	75	41	0.54	
	全行程	3055	794	0.26	

図 4-3 魚群の動き (小八幡漁場) Fig. 4-3 Movement of fish school (Koyawata)



番号	時刻 時 分 秒	経過時間 秒	移動距離 m	游泳速度 m/s	備考
1	43:55				台の東の深みから差し込んだ魚群は中央の神側に当り台の東側から回り込むように「たか丸」の近くを通り垣網前面に向ったが、次第に沈下してその後の動きは不明である。(イワシ? アジ?)
2	46:15	80	31	0.39	
3	46:45	90	45	0.50	
4	47.50	65	35	0.54	
5	49:15	85	23	0.27	
6	51.20	125	35	0.28	
7	52:50	90	38	0.42	
8	53.50	60	33	0.55	
9	55:00	70	28	0.40	
10	55:55	55	25	0.45	
11	56:55	60	30	0.50	
12	58:00	65	23	0.35	
13	59:05	65	35	0.54	
	全行程	910	381	0.42	

図 4-4 魚群の動き (小八幡漁場) Fig. 4-4 Movement of fish school (Koyawata)



番号	時刻 時 分 秒	経過時間 秒	移動距離 m	游泳速度 m/s	備考
1	05:35:55				網の沖側から台の東側を通り垣網前面に回り込んだがその後の動きは不明である。（イワシ？ アジ？）
2	:38:00	125	85	0.68	
3	:38:55	55	38	0.69	
4	:39:55	60	40	0.67	
5	:42:05	130	65	0.50	
6	:44:50	165	45	0.27	
7	:46:30	100	60	0.60	
8	:47:40	70	45	0.64	
9	:48:45	65	46	0.71	
10	:50:15	90	53	0.58	
11	:52:45	150	73	0.49	
12	:54:00	75	53	0.71	
	全行程	1085	603	0.56	

図 4-5　魚群の動き（小八幡漁場）　　Fig. 4-5　Movement of fish school (Koyawata)

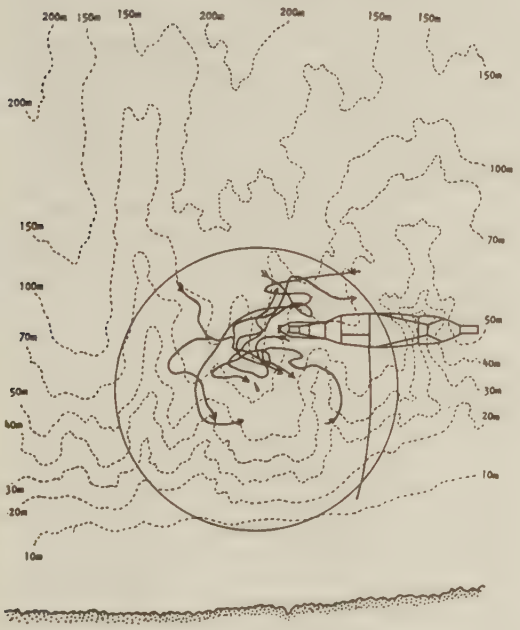


図 5　調査期間中の魚群の動き（小八幡漁場）
Fig. 5　Movements of fish schools during investigation (Koyawata)

についての魚群行動は資料が少いため充分な解析が出来ないので全般的な傾向を見るにとゞめる。

江ノ浦漁場で得られた魚群行動の模式図を図6－1～図6－22に示す。

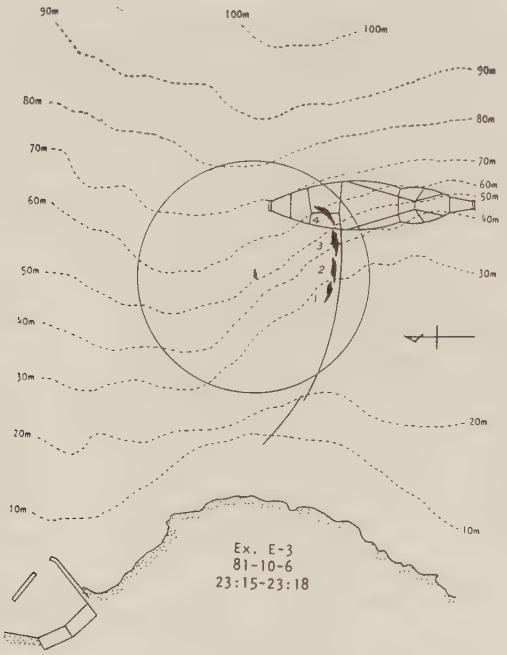
おゝざっぱに魚群の行動を5つのパターンに分けて，夫々の特徴を見ると次のような傾向が得られた。

パターンI.　50 m 等深線より浅くまで差し込んで網へ向う魚群：図6－1～図6－7に示すように7例で全体の約32％を占めていて，何れも入網している。

Ex. E-3，Ex. E-15，Ex. E-18，Ex. E-19，Ex. E-21（図6－1～図6－5）の5例では垣網が魚群の進路を遮断し，誘導する働きがみられ，垣網の効果が認められる。しかしEx. E-10，Ex. E-22（図6－6，図6－7）の2例では魚群は垣網と無関係に等深線に沿って羽口に向っている。

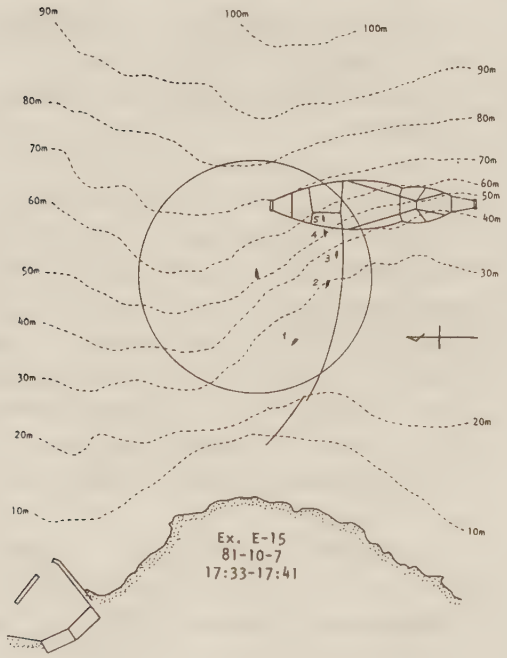
今回の調査では垣網を突き抜けるような魚像は見られなかった。サンマは非常に網に接近するようである。

游泳速度はメジ（0.65 m/s）が若干速いが，魚種による差は余りはっきりと認められず 0.48 m/s～0.65 m/s で平均 0.55 m/s（約1.1ノット）であった。Ex. E-21（図6－5），Ex. E-22（図6－7）は沖合から差し込んだ魚群は水深が 30 m～40 m の所で変針して垣網ある



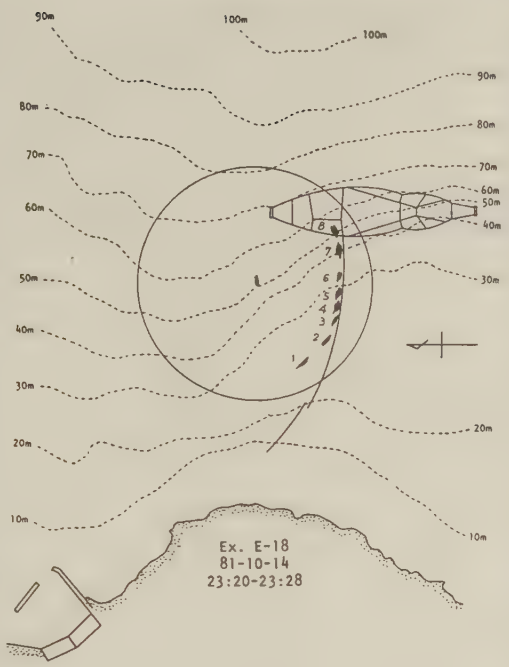
番号	時刻 時 分 秒	経過時間 秒	移動距離 m	遊泳速度 m/s	備考
1	23:14:45				垣網前面で磯まで（30 m線）差し込み垣網の中ほどから垣網に添い（7～10mの間隔で）入網している。垣網前面の魚群の動きとしては理想的である。（イワシ？）
2	:16:00	75	38	0.51	
3	:17:10	70	45	0.64	
4	:18:30	80	48	0.60	
	全行程	225	131	0.58	

図 6-1 魚群の動き（江ノ浦漁場） Fig. 6-1 Movement of fish school (Enoura)



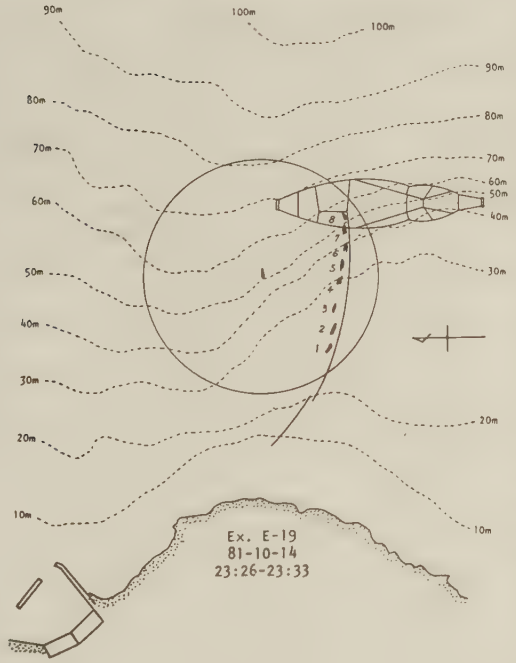
番号	時刻 時 分 秒	経過時間 秒	移動距離 m	遊泳速度 m/s	備考
1	17:33:55				垣網の磯の方では魚群は垣網から約65～70 m離れているが次第に垣網に接近して、羽口から40 mくらいの所では約10mくらいまで接近している。その後やや垣網から離れて羽口のほぼ中央を通過して入網している。魚像が小さく判読し難い。（メジ？）
2	:36:25	150	110	0.73	
3	:38:00	95	58	0.61	
4	:39:20	80	45	0.56	
5	:40:00	40	25	0.63	
	全行程	365	238	0.65	

図 6-2 魚群の動き（江ノ浦漁場） Fig. 6-2 Movement of fish school (Enoura)



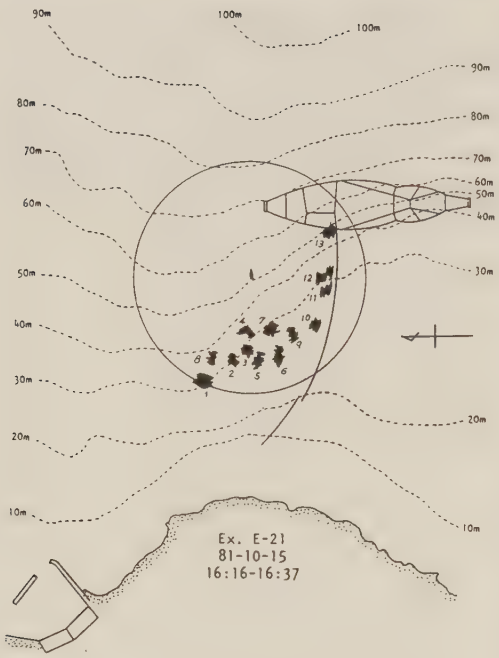
番号	時刻 時分秒	経過時間 秒	移動距離 m	遊泳速度 m/s	備考
1	23:19:45				垣網に非常に接近して添い入網する。垣網と魚群との間隔は0～5mくらいである。魚まで差し込んで垣網に誘導され入網した理想的な魚群の動きである。（サンマ？）
2	:21:20	95	64	0.67	
3	:22:15	55	38	0.69	
4	:23:00	45	26	0.57	
5	:23:40	40	20	0 50	
6	:24:20	40	20	0.50	
7	:25:50	90	48	0.60	
8	:27:30	100	33	0 33	
	全行程	465	249	0.54	

図 6-3　魚群の動き（江ノ浦漁場）　Fig. 6-3　Movement of fish school (Enoura)



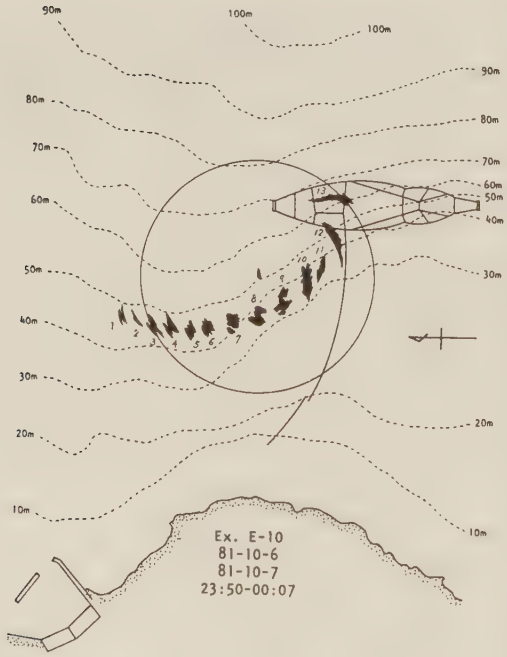
番号	時刻 時分秒	経過時間 秒	移動距離 m	遊泳速度 m/s	備考
1	23:26:00				Ex. E－18 と同様に垣網に接近して添い入網する理想的な動きである。（サンマ？）
2	:27:00	60	35	0 58	
3	:20:05	65	35	0 54	
4	:29:20	75	43	0.57	
5	.30:15	55	30	0.55	
6	:31:05	50	30	0.60	
7	:32:10	60	30	0 50	
8	:32:55	45	23	0.51	
	全行程	415	226	0.54	

図 6-4　魚群の動き（江ノ浦漁場）　Fig. 6-4　Movement of fish school (Enoura)



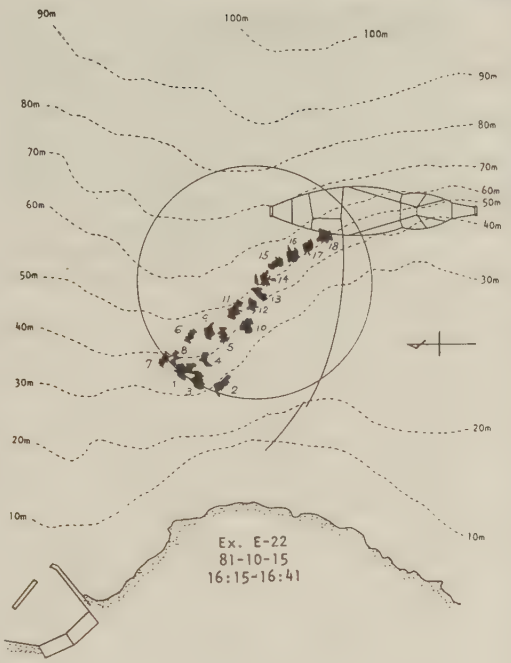
番号	時刻 時 分 秒	経過時間 秒	移動距離 m	遊泳速度 m/s	備考
1	16:15:45				垣網前面の磯に差し込んだ魚群が垣網に向いおおよそ10mくらいの間隔を保ちながら垣網に入網している。定置網の教科書に出てくるような魚群の動きである。磯での魚群の動きは複雑である。（サバ？ ソーダガツオ？）
2	:17:40	115	65	0.57	
3	:18:25	45	30	0.66	
4	:19:15	50	34	0.68	
5	:20:35	80	54	0.68	
6	:21:25	50	38	0.76	
7	:22:25	60	48	0.80	
8	:24:55	150	115	0.77	
9	:31:00	365	145	0.40	
10	:32:10	70	45	0.65	
11	:34:00	110	62	0.56	
12	:34:40	40	23	0.57	
13	:36:55	135	76	0.56	
	全行程	1270	735	0.58	

図 6-5 魚群の動き（江ノ浦漁場） Fig. 6-5 Movement of fish school (Enoura)



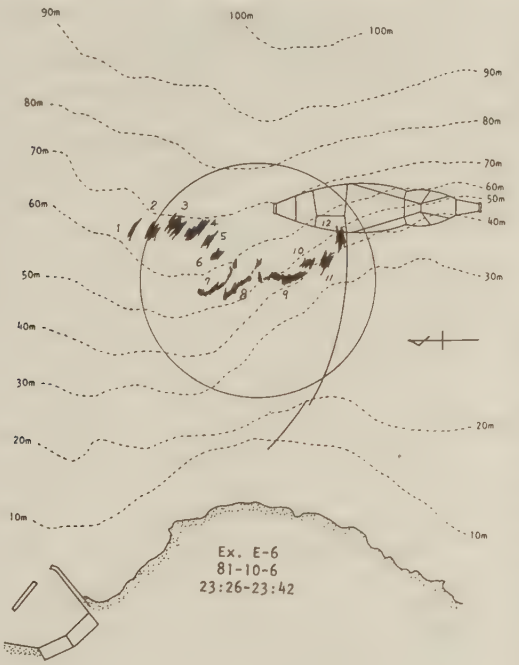
番号	時刻 時 分 秒	経過時間 秒	移動距離 m	遊泳速度 m/s	備考
1	23:50:05				40～50 m線から差し込んで30～40 m線に沿って羽口へ向い入網する。10～12では垣網の誘導効果が若干は認められると思われるが、それ以前では垣網の誘導効果があるとは考えられない。等深線が魚群行動を左右するのだろうか？（イワシ？）
2	:51:40	95	28	0.29	
3	:53:15	95	30	0.32	
4	:54:20	65	28	0.43	
5	:55:50	90	35	0.39	
6	:56:40	50	30	0.60	
7	:58:15	95	44	0 46	
8	:59:55	100	43	0.43	
9	:01:10	75	49	0.65	
10	:02:40	90	50	0.56	
11	:03:40	60	28	0.47	
12	:05:00	80	53	0.66	
13	:07:05	125	68	0.54	
	全行程	1020	486	0.48	

図 6-6 魚群の動き（江ノ浦漁場） Fig. 6-6 Movement of fish school (Enoura)



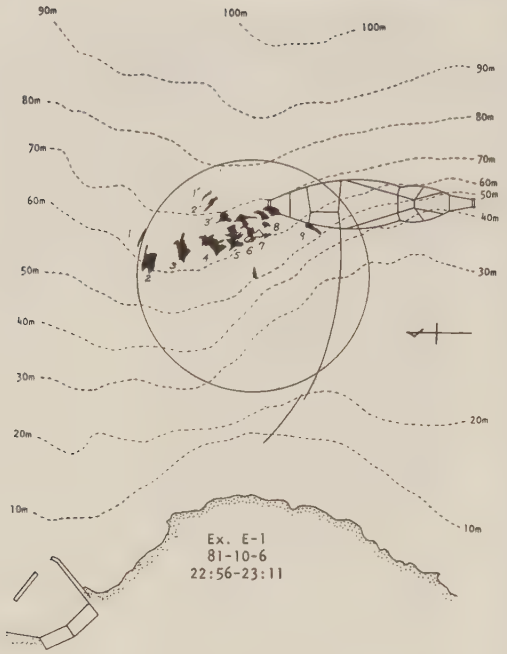
番号	時刻 時 分 秒	経過時間 秒	移動距離 m	游泳速度 m/s	備考
1	16:15:55				垣網前面の磯に差込んだ魚群が垣網に接近して添わずにほぼ等深線沿いに羽口に向い入網している。 垣網の誘導効果と云うよりは等深線に関係が深いような動きをしている。 磯での魚群の動きは複雑である。（サバ？ ソーダガツオ？）
2	:20:00	245	70	0.29	
3	:21:30	90	45	0.50	
4	:22:45	75	38	0.51	
5	:24:25	100	48	0.48	
6	:26:10	105	55	0.52	
7	:28:25	135	68	0.50	
8	:29:05	40	20	0.50	
9	:31:00	115	73	0.65	
10	:32:35	95	65	0.68	
11	:33:15	50	35	0.70	
12	:34:00	45	33	0.73	
13	:34:50	50	25	0.50	
14	:36:00	70	30	0.43	
15	:37:15	75	30	0.40	
16	:38:25	70	30	0.43	
17	:39:10	55	30	0.54	
18	:40:15	65	35	0.54	
	全行程	1460	730	0.50	

図 6-7　魚群の動き（江ノ浦漁場）　Fig. 6-7　Movement of fish school (Enoura)



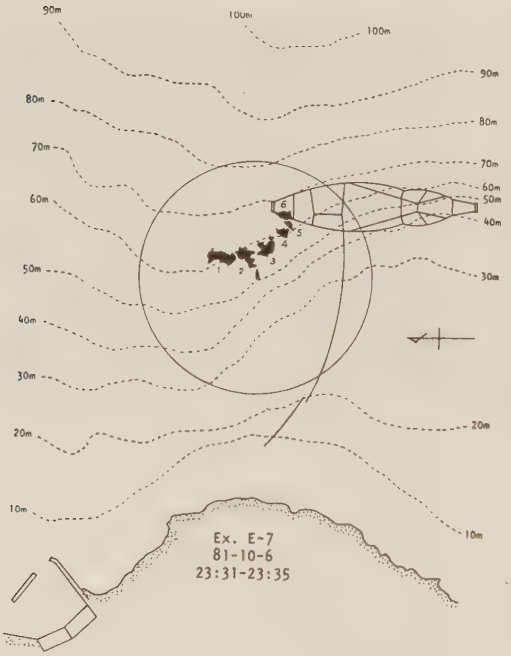
番号	時刻 時 分 秒	経過時間 秒	移動距離 m	游泳速度 m/s	備考
1	23:26:05				1～4では60～70 m線を身網にほぼ平行して網に向ったが4～8で磯側に向い8～12の間は40～50 mの等深線に沿い羽口に向い入網している。 1～6では魚群は固まっていたが7～9では帯状に細長く変形し、10～12では再び比較的固まっている。 8では垣網から約120 mくらいはあるので垣網の誘導効果とは思われない。海底地形（等深線）と魚群の行動は可成り関係があるのではなかろうか？（イワシ？）
2	:27:25	80	30	0.38	
3	:29:00	95	38	0.41	
4	:32:05	185	38	0.21	
5	:33:20	75	25	0.33	
6	:34:15	55	25	0.45	
7	:35:10	55	40	0.73	
8	:36:55	105	40	0.38	
9	:38:25	90	48	0.53	
10	:39:25	60	38	0.63	
11	:40:55	90	28	0.31	
12	:42:30	95	50	0.53	
	全行程	985	400	0.41	

図 6-8　魚群の動き（江ノ浦漁場）　Fig. 6-8　Movement of fish school (Enoura)



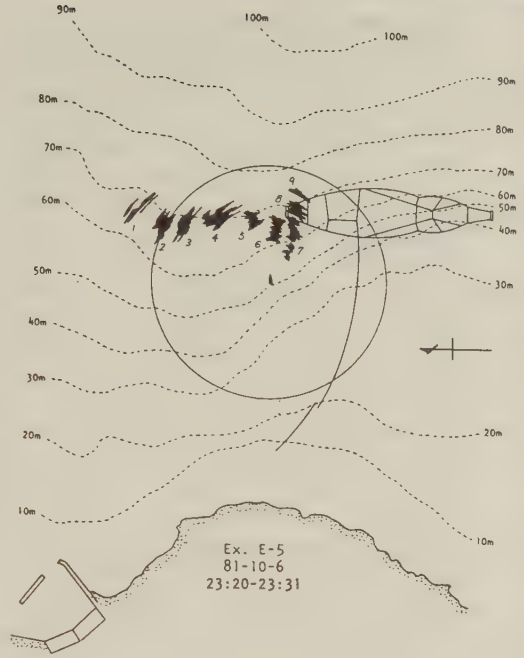
番号	時刻 時分秒	経過時間 秒	移動距離 m	游泳速度 m/s	備考
1	23:00:25				60 m等深線にほぼ沿って台の方へ向った魚群と沖の方から差し込んだ魚群が5～6で合流し、台の方へ向ったが殆んど沖へ去り、一部が運動場の磯側網際いに羽口に向ったが入網したとは思われない。台から沖へ去る魚群は暫く台附近に滞留するようである。（イワシ？）
2	:02:40	135	40	0.30	
3	:04:25	105	64	0.61	
4	:06:10	105	51	0.49	
5	:07:20	70	35	0.50	
6	:08:15	55	28	0.51	
7	:09:00	45	18	0.40	
8	:10:00	60	30	0.50	
9	:11:20	80	70	0.88	
1′	:01:40				
2′	:06:10	270	18	0.07	
3′	:07:20	70	30	0.42	
			33	0.60	
	全行程	1050	417	0.40	

図 6-9 魚群の動き（江ノ浦漁場） Fig. 6-9 Movement of fish school (Enoura)



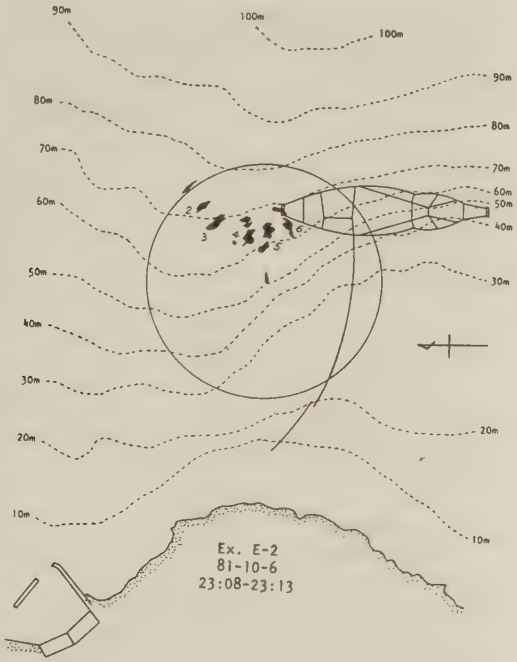
番号	時刻 時分秒	経過時間 秒	移動距離 m	游泳速度 m/s	備考
1	23:31:00				ほぼ60 m等深線に沿い台に向いそのまま沖へ去ったと思われる。台附近で暫く滞留しているようである。（イワシ？）
2	:32:10	70	41	0.59	
3	:33:00	50	35	0.70	
4	:34:15	75	38	0.51	
5	:34:50	35	18	0.51	
6	:35:25	35	18	0.51	
	全行程	265	150	0.57	

図 6-10 魚群の動き（江ノ浦漁場） Fig. 6-10 Movement of fish school (Enoura)



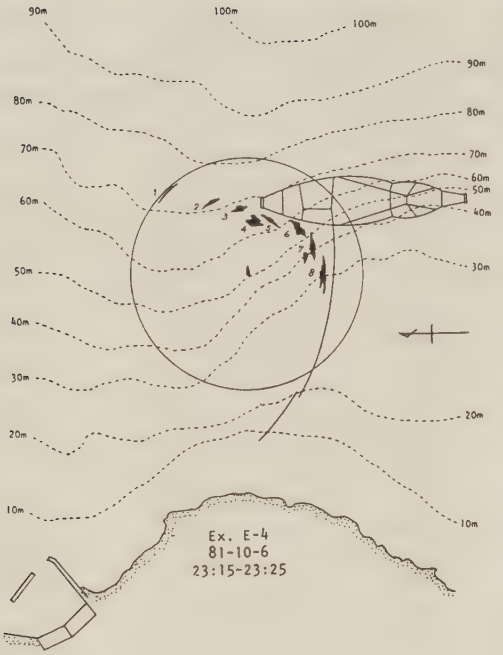
番号	時刻 時 分 秒	経過時間 秒	移動距離 m	遊泳速度 m/s	備考
1	23:20:00				70m等深線に沿い網に向ったが台付近から灯へ逃れてしまう。（イワシ？）
2	:21:00	60	43	0.72	
3	:22:00	60	35	0.58	
4	:24:15	135	60	0.44	
5	:26:25	130	58	0.45	
6	:27:30	65	45	0.69	
7	:28:50	80	30	0.38	
8	:30:00	70	40	0 57	
9	:31:00	60	25	0.42	
	全行程	660	336	0.51	

図 6-11　魚群の動き（江ノ浦漁場）　Fig. 6-11　Movement of fish school (Enoura)



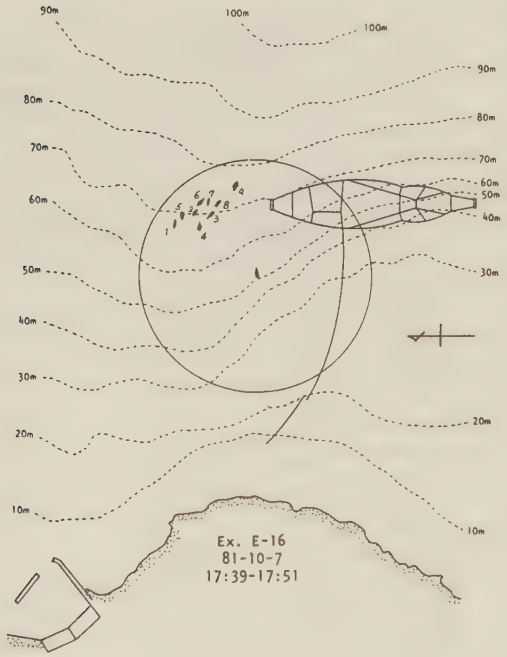
番号	時刻 時 分 秒	経過時間 秒	移動距離 m	遊泳速度 m/s	備考
1	23:07:55				70～80m線から差し込んだ差し込みが浅く運動場側の台の方へ逃れて灯へ向ったようである。 3で2群に分れ4～6では3群～4群に分れている。 台附近で暫く滞留するようである。（イワシ？）
2	09:00	65	40	0.62	
3	09:55	55	35	0.64	
4	11:00	65	50	0.80	
5	12:00	60	30	0.50	
6	13:00	60	35	0.58	
	全行程	305	190	0.62	

図 6-12　魚群の動き（江ノ浦漁場）　Fig. 6-12　Movement of fish school (Enoura)



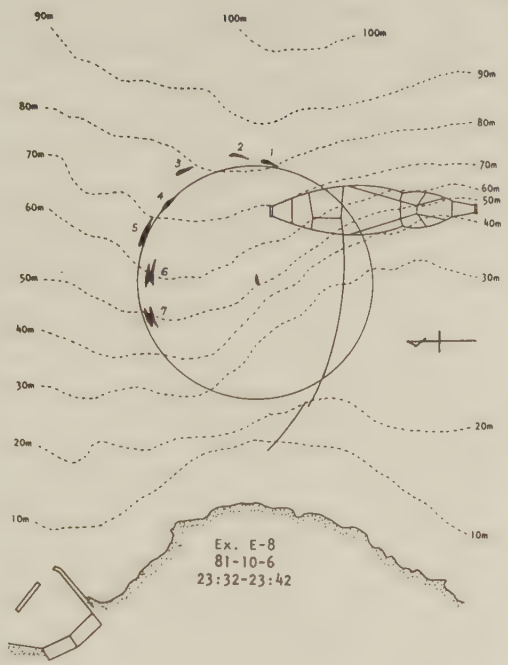
番号	時刻 時 分 秒	経過時間 秒	移動距離 m	游泳速度 m/s	備考
1	23:15:45				70m等深線に沿い運動場碇
2	:18:05	140	83	0.59	御を通って垣網に向ったが碇
3	:19:15	70	50	0.71	に向い入網していない。
4	:20:15	60	35	0.58	魚群が垣網に当った後の行動
5	:21:20	65	29	0.45	はその角度により左右される
6	:22:35	75	50	0.67	ものと思われる。（イワシ？）
7	:24:15	100	40	0.40	
8	:25:30	75	40	0.53	
	全行動	585	327	0.56	

図 6-13 魚群の動き（江ノ浦漁場） Fig. 6-13 Movement of fish school (Enoura)



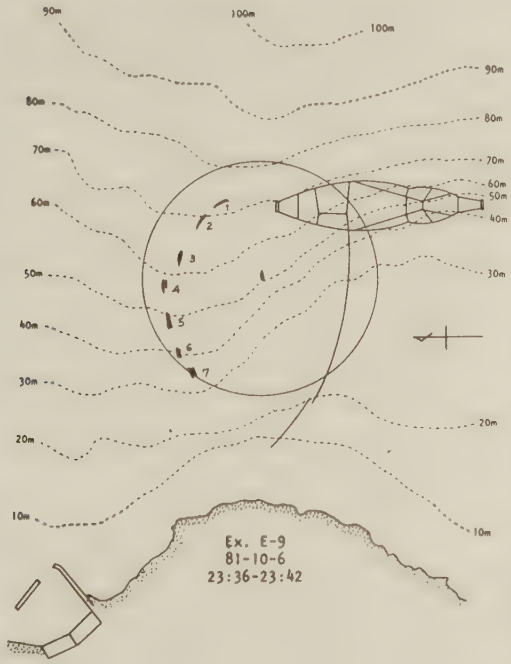
番号	時刻 時 分 秒	経過時間 秒	移動距離 m	游泳速度 m/s	備考
1	17:39:				17:39～17:50の間
2	:40:				にチラチラと小さな魚影が出
3	:41:				るが魚群の動きは明らかでな
4	:42:				い。（メジ？）
5	:44:				
6	:45:				
7	:46:				
8	:48:				
9	:50:				

図 6-14 魚群の動き（江ノ浦漁場） Fig. 6-14 Movement of fish school (Enoura)



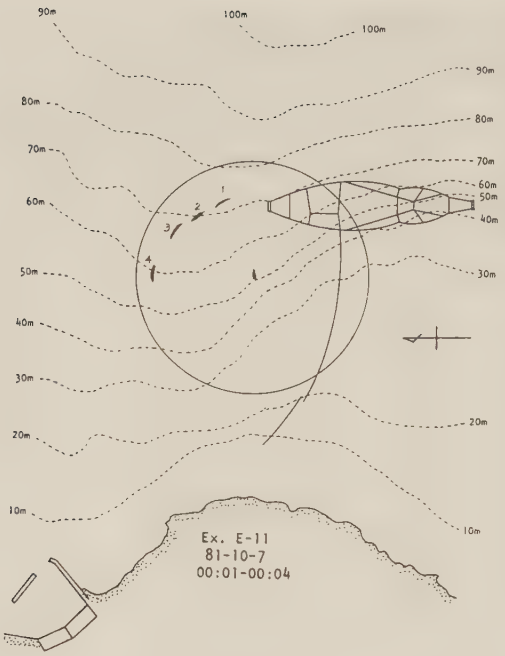
番号	時刻 時 分 秒	経過時間 秒	移動距離 m	游泳速度 m/s	備考
1	23:32:25				網の沖側から回り込むように垣網前面に差し込む。一度垣網前面が差し込んで台附近から沖へ去った魚群が再び回り込んだのではなかろうか？游泳速度が割に速い。約1.4ノットくらいである。（イワシ？）
2	:33:30	65	50	0.77	
3	:35:35	125	98	0.74	
4	.37:00	85	63	0.74	
5	:38:35	95	68	0.66	
6	:40:15	100	68	0.68	
7	:42:00	106	78	0.70	
	全行程	575	410	0.71	

図 6-15　魚群の動き（江ノ浦漁場）　Fig. 6-15　Movement of fish school (Enoura)



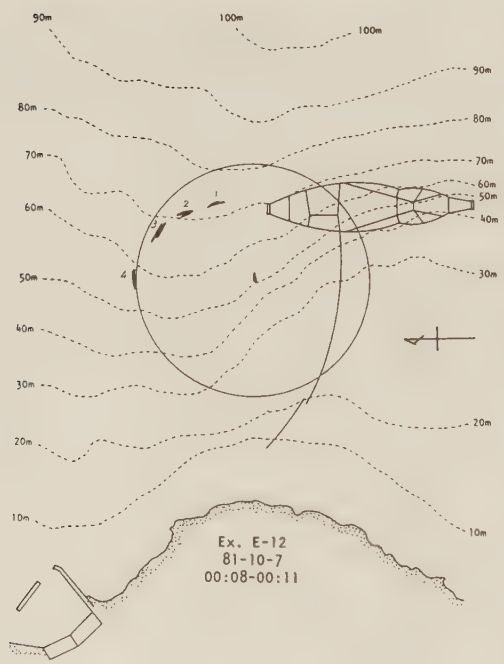
番号	時刻 時 分 秒	経過時間 秒	移動距離 m	游泳速度 m/s	備考
1	23:25:50				Ex. E－8と同じような動きである。（イワシ？）
2	:36:45	55	45	0.82	
3	:38:00	70	65	0.87	
4	:39.00	60	50	0.83	
5	.40.20	80	54	0.68	
6	:41:30	70	55	0.79	
7	:42:20	50	39	0.78	
	全行程	385	308	0.79	

図 6-16　魚群の動き（江ノ浦漁場）　Fig. 6-16　Movement of fish school (Enoura)



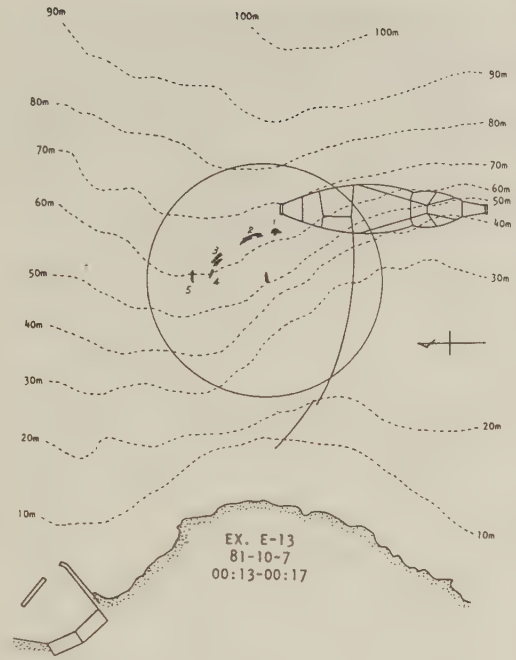
番号	時刻 時 分 秒	経過時間 秒	移動距離 m	游泳速度 m/s	備考
1	00:00:45				Ex. E－8、9と同じような動きである。（イワシ？）
2	:01:50	65	48	0.74	
3	:01:50	60	48	0.80	
4	:04:10	80	60	0.75	
	全行程	205	156	0.76	

図 6-17 魚群の動き（江ノ浦漁場） Fig. 6-17 Movement of fish school (Enoura)



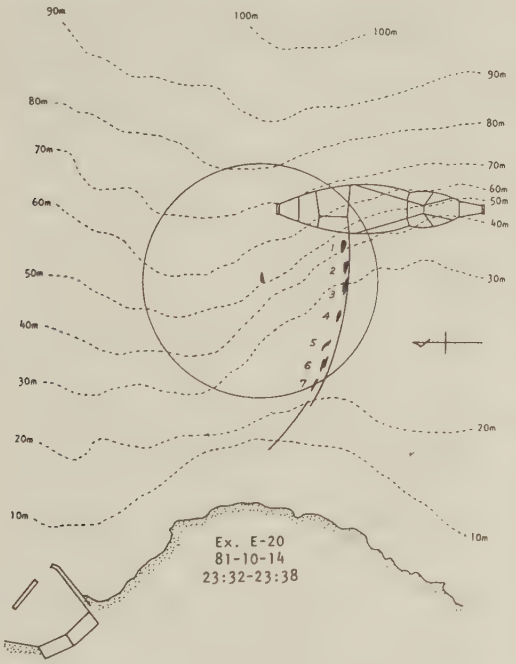
番号	時刻 時 分 秒	経過時間 秒	移動距離 m	游泳速度 m/s	備考
1	00:06:35				Ex. E－8、9、11と同じような動きである。（イワシ？）
2	:07:45	70	55	0.79	
3	:09:00	75	65	0.87	
4	:10:50	110	85	0.77	
	全行程	255	205	0.80	

図 6-18 魚群の動き（江ノ浦漁場） Fig. 6-18 Movement of fish school (Enoura)



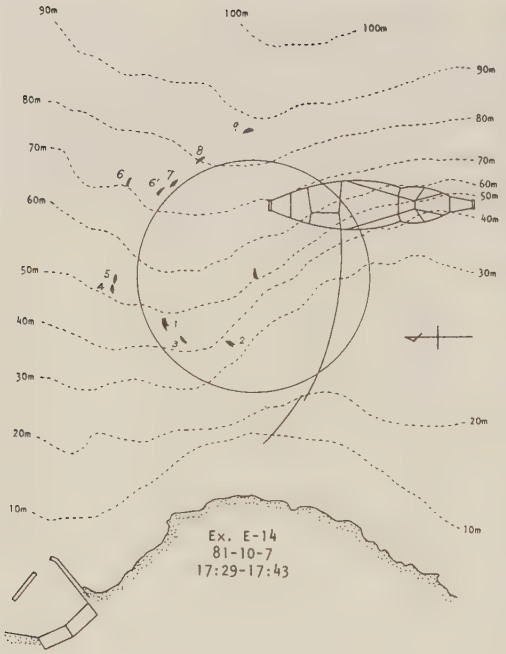
番号	時刻 時分秒	経過時間	移動距離	游泳速度	備考
		秒	m	m/s	
1	00:13:05	60	43	0.72	Ex. E－8、9、11、12、などと同じような動きであるが、網の磯側からスタートしている点が異る。
2	:14:05	85	68	0.80	
3	:15:30	40	28	0.70	
4	:16:10	50	33	0.66	
5	:17:00				
	全行程	235	172	0.73	運動場の磯側の　網附近に滞留していた魚群ではなかろうか？（イワシ？）

図 6-19　魚群の動き（江ノ浦漁場）　　Fig. 6-19　Movement of fish school (Enoura)



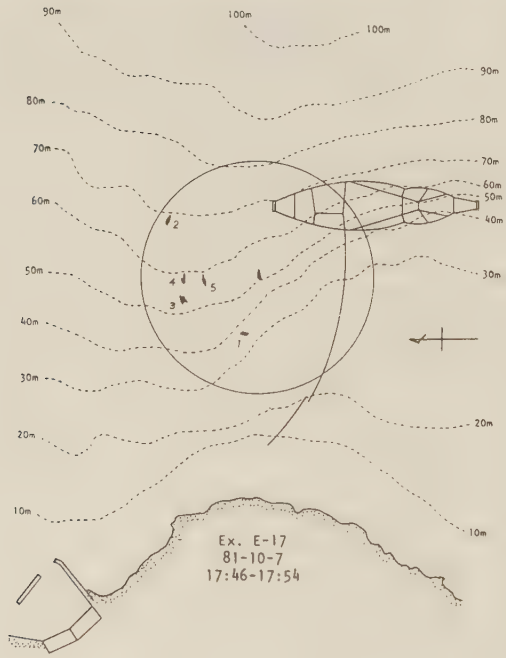
番号	時刻 時分秒	経過時間	移動距離	游泳速度	備考
		秒	m	m/s	
1	23:32:05	60	38	0.64	出網魚群であるが垣網に非常に接近して添い移動している。（サンマ？）
2	:33:05	50	32	0.64	
3	:33:55	65	45	0.69	
4	:35.00	80	55	0.69	
5	:36.20	45	30	0.67	
6	:37:05	55	38	0.69	
7	:38:00				
	全行程	355	238	0.67	

図 6-20　魚群の動き（江ノ浦漁場）　　Fig. 6-20　Movement of fish school (Enoura)



番号	時刻 時分秒	経過時間 秒	移動距離 m	游泳速度 m/s	備考
1	23:29:10				魚像が小さくチラチラと出て判読が困難である。これらの魚像の連続性については疑問な点もあるが一応時間的なずれを求めてみた。（メジ？）
2	:31:45	155	120	0.77	
3	:33:20	95	80	0.84	
4	:35:30	130	108	0.83	
5	:35:55	25	20	0.80	
6	:38:35	160	165	1.03	
7	:39:40	95	75	0.79	
8	:41:20	80	65	0.81	
9	:43:10	110	95	0.86	
	全行程	690	563	0.82	

図 6-21 魚群の動き（江ノ浦漁場） Fig. 6-21 Movement of fish school (Enoura)



番号	時刻 時分秒	経過時間 秒	移動距離 m	游泳速度 m/s	備考
1	17:46:				Ex. IE−16と同様で17:46〜17:54の間に小さな魚像が出る。魚群の動きは明らかでない。（メジ？）
2	:46:				
3	:48:				
4	:49:				
5	:51:				

図 6-22 魚群の動き（江ノ浦漁場） Fig. 6-22 Movement of fish school (Enoura)

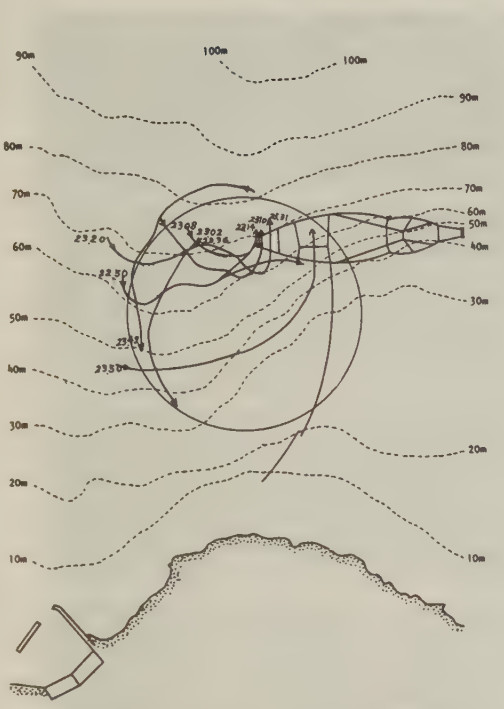


図 7　台附近から沖へ逸れたが再び垣網前面に差し込み入網したと思われる魚群の動き

Fig. 7　Fish once dodg the net but finally enter it

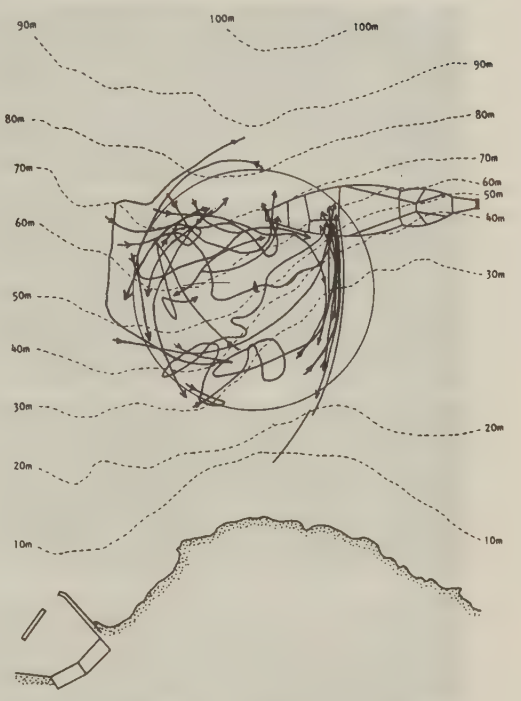


図 8　調査期間中の魚群の動き（江ノ浦漁場）

Fig. 8　Movements of fish schools during investigation (Enoura)

いは羽口に向っているが，変針点では魚群は複雑な動きをすることがあるようである。

パターン II.　50 m 等深線より深い所から網へ向う魚群：図 6－8～図 6－14 に示すように 7 例で全体の約 32％ を占めているが，入網したのは 1 例のみで，パターン I に比べて入網率が可成り悪くなっている。入網したのは Ex. E-6（図 6－8）で最初 60 m～70 m 線を身網にほぼ平行して網に向っていたが，途中から（垣網前面約 180 m～190 m の所から）磯に向い 50 m～60 m 線に入り，群形が帯状に細長く変形してから 40 m 線に沿って羽口に向って入網している。

Ex. E-1（図 6－9），Ex. E-7（図 6－10）では魚群は 60 m 線に沿い台から運動場附近に向ったが，大部分はそのまゝ沖へ去ったようである。錨綱や運動場の側網などの近くに暫く滞留するようである。魚群の一部は運動場の磯の側網添いに羽口に向うものもあるが入網していないようである。Ex. E-5（図 6－11），Ex. E-2（図 6－12）では魚群は 70 m 線沿いに身網にほゞ平行して台附近に向ったが，台附近で滞留してから沖へ逸れている。Ex. E-4（図 6－13）では魚群は 70 m 線沿いに運動場の磯の側網に添い羽口に向ったが，羽口の手前を通過して垣網に当っているが，そのまゝ磯へ逸れて入網していない。Ex. E-16（図 6－14）では魚群は台までも到達せずに沖へ逸れている。

これらの例から魚群の磯への差込みが充分でない場合は魚群は網の方へ向っても入網率は非常に低いようである。ほとんどがイワシ魚群と思われるが，游泳速度は 0.40 m/s～0.62 m/s で平均 0.51 m/s（約 1.0 ノット）である。

パターン III.　運動場の沖合あるいはその附近から反時計回りに差し込む魚群：図 6－15～図 6－19に示すように 5 例で全体の約 23％ を占めている。これらの魚群は直接沖合から差し込んだものとは思われず，パターンⅡの魚群が運動場附近で滞留していたものが離れて網前面に回り込んだのではないかと思われる。またこれらの魚群は 30 m～50 m 線で集って羽口へ向うサークルの一部とも考えられる。例えばパターンⅡの Ex. E-1（図 6－9），Ex. E-2（図 6－12），Ex. E-5（図 6－11）の例では魚群は台附近に23時10分頃，23時13分頃，23時31分頃に達している。その後これらの魚群は運動場の側網附近や錨網附近で滞留していると思われる魚像が得られている。Ex. E-8（図 6－15），Ex. E-9（図 6－16）の魚群は23時32分頃，23時36分頃から現われ，上記のパターンⅡの魚群との関連があると考えても良いようである。

写真 1-1 江ノ浦漁場における魚像 Photo. 1-1 Images of fish schools (Enoura)

写真 1-2　江ノ浦漁場における魚像　　Photo. 1-2　Images of fish schools (Enoura)

写真 1-3 江ノ浦漁場における魚像 Photo. 1-3 Images of fish schools (Enoura)

写真 1-4　江ノ浦漁場における魚像　　Photo. 1-4　Images of fish schools (Enoura)

また Ex. E-8（図6—15），Ex. E-9（図6—16）の魚群は 35 m～45 m 線には23時42分頃に達している。次にパターンⅠの Ex. E-10（図6—6）を見ると魚群は23時50分頃から現われている。若干の時間の差はあるが，運動場の沖から反時計回りに磯に差し込んだ魚群が再び沖へ向ったのではないかと思われる。前述のように変針点では魚群は一時停滞したり，動きが複雑になることがある。これらを考え合せると Ex. E-10 と Ex. E-8, Ex. E-9 との関連があるのではなかろうか。上記の例でみられる魚群の動きの一連の関連性を図示すると図7のようになる。

パターンⅢの魚群游泳速度は 0.73 m/s～0.80 m/s で平均は 0.76 m/s（約1.5ノット）である。イワシと思われるがパターンⅠ，パターンⅡより速い。

パターン IV. 出網魚群：今回の調査では Ex. E-20（図6—20）の1例のみでサンマと思われる。入網の場合と同様に魚群は非常に接近している。サンマと思われる入網魚群の游泳速度の平均は 0.54 m/s（約1ノット）であるが出網魚群では 0.67 m/s（約1.3ノット）で若干出網魚群の方が速いようである。

パターン V. 不規則に現われる魚群：Ex. E-14（図6-21），Ex. E-17（図6—22）に示すように小さな魚像がちらちらとあちこちに現われるが，連続して魚群の動きを追跡することが難かしい。これは小さな群があちこちに広く分布しているためなのか，游泳速度が速くて移動範囲が広いためなのか明瞭ではない。この2例の魚群はメジではないかと思われる。

上記の22例をまとめて図示すると図8のようになる。

40m線以浅に差し込んだ魚群の入網率は非常に良いが差し込みが充分でなく60m線以深から網に向った魚群も殆んど入網していない。60m線以深に現われる魚群は可成り多いことが推測されるが，60m～70m線に来游する魚群を如何にして入網させるかに問題（例えば沖出しなど）があるようである。

模式図は魚群の動きの概要を把握する目的で作成し，1分～3分くらいの間隔でプロットしたので，魚群の形状の変化の詳細は記されていない（同一図上に示すことは困難でもある）。魚群の形状の変化の様子を写真1に例示する。これらはイワシと思われる魚像のスチール写真であるが，魚群の形状は常に一定ではなく，合流したり，分離したり非常に複雑に変化することが分る。

以上が今回スキャンニングソナーで得られた魚群の行動（主として水平的な動き）であるが，游泳水深は10m～30mくらいが多いようである。小八幡漁場では次第に沈下して海底近くまで沈んだ魚群もみられた。

魚群が出現する時刻は今回の調査では23時～01時頃が最も多く，15時～18時，05時～06時頃にも若干見られた。

潮流と魚群の行動との関係については魚群が来游した時は何れの例でも殆んど潮流がなかったので特にその関係を知ることが出来なかった。

4. 結　　言

事例数が少いので（約30）結論めいたことは云えないが，定置網前面に於ける魚群行動の一端を知ることが出来た。

(1) 魚群の行動は海底地形（等深線）と関係が深い。

(2) 水深40m以浅の磯へ差し込んだ魚群は入網率が高いが，水深60m以深から網に向う魚群は入網率が低い。

(3) 垣網の遮断，誘導効果が認められた。

(4) 台，運動場の側網，錨網などの周辺で魚群は滞留するようで，定置網の魚礁的効果が認められた。

(5) 魚群は移動中に群形が複雑に変化する。

定置網周辺の魚群行動については殆んど分らぬのが現状であるが，定置網の設置条件の設定，漁具構成の改良などを考える際の基礎的な貴重な知見を得た。

今後更に多くの基礎資料を積み重ねることが重要である。

スキャンニングソナーについても未だ残された問題があるので，これらについても検討する必要がある。

本調査を行うに当って協力をいたゞいた相模湾支所の宮田所長，中村科長，平元専門研究員，神奈川県定置漁業研究会の方々に深謝致します。また色々と助言をいただいた漁業生産工学部矢島部長，昼夜連続調査に協力いたゞいた「たか丸」の戸部船長，上原機関長他乗組員の方々に深謝致します。

参考文献

1) 田原陽三・井上喜洋・森敬四郎；スキャンニングソナーによる定置網に対する魚群行動調査の試み，水工研研究報告 第3号，1982

2) 田原陽三；定置漁業と魚群探知機，さかなNo. 3, 1969

3) 川田三郎・田原陽三；定置網漁場に於ける魚道測量の一つの試み（予報），日水誌，Vol. 24, No. 6, 7, 1958

4) 川田三郎・田原陽三；魚群探知機の記録から魚群の游泳速度を測定する一つの試み，日水誌 Vol. 24, No. 1, 1958

5) 野沢靖・間庭愛信・田原陽三；尾鷲湾に於ける魚道調査，尾鷲湾ダム調査報告書，1960
6) 田原陽三；定置網漁場に於ける魚道調査，ていち No. 29，1964
7) 田原陽三；魚群探知機から見た定置漁場に於ける魚群の行動—I，ていち No. 32，1967
8) 田原陽三；魚群探知機から見た定置漁場に於ける魚群の行動—II，ていち No. 54，1978
9) 田原陽三；魚群探知機から見た定置漁場に於ける魚群の行動—III，ていち No. 62，1982
10) 田原陽三；S. ソナーで見た定置網漁場に於ける魚群の行動—I，ていち，No. 63，1982

Studies on Fish Behavior with Scanning Sonar around Set Nets·····I

Observing Fish Behavior in Koyawata and Enoura Fishing Grounds in Sagami Bay

By

Yozo Tawara, Yoshihiro Inoue and Keishiro Mori

Summary

The authors made a trial of scanning sonar to observe fish behavior swimming toward a set net in may, 1981. Although there still remain various questions, the results obtained proved it to be one of the most optimum methods at this stage capable of grasping fish behavior around the set net in a normal condition (previous report). The investigation of fish behavior with this method was then repeatedly conducted day and night around the fishing grounds of Koyawata and Enoura in the Sagami Bay between September 25 and October 16, 1981.

The reserch vessel "Takamaru" in which the scanning sonar is installed was anchored in front of the set net and mainly observed fish behavior in front of the leading net (Fig. 2 and 3).

During the period of the investigation, a school of fish coming around the set net were too small to sufficiently grasp its behavior, however, the investigation enabled us to gain a general idea.

Photo 1 shows fish images that appeared on the scanning sonar. The fish behavior illustrated in Figs. 4 and 6 are thus obtainable from the photographs.

(1) The fish behavior has a close relationship with geographical conditions (isobath of the sea bottom.

(2) The fish school coming into the sea area shallower than 40 m is high in ratio of entering the net.

(3) The leading net was observed to be effective for interception and guidance of fish (Fig. 6–1～6–6).

(4) The fish school that approaches to a level of more than 60 m in depth to the net is low in ratio of entering the net (Fig. 6–8～6–14).

(5) The fish school seems to stay around the net of the play ground and the anchor ropes of the main buoys, and such a fish school tends to move toward the front of the leading net to enter the body net (Fig. 7).

(6) The fish school, while moving will complicatedly vary in its form (Photo. 1).

As mentioned above, we could acqire foundamentally valuable data for improving net construction technics and establishment of characteristic conditions for setting the set net, not to mention the importance of collecting fundamental data.

水工研報告 4
1983 pp. 221～233

鮪延縄の摩擦係数とラインホーラーの揚縄張力

下崎 吉矩*・藤井 慶一**・武富 一*

目 次

1. 緒 言…… 221
2. 実験材料および方法…… 221
2.1 材料…… 221
2.2 実験装置…… 222
3. 実験結果と考察…… 224
3.1 摩擦線速度 v, 摩擦荷重 W と摩擦係数 μ の関係…… 224
3.2 摩擦量 S と μ…… 225
3.3 考察…… 225
4. ラインホーラの揚縄張力の推定…… 228
4.1 推定値の算出…… 228
4.2 考察…… 230
5. 結 語…… 231

1. 緒 言

鮪延縄の操業中におこる幹縄の破断事故の中には，その敷設中に海潮流や風浪の作用が直接的に原因すると考えられるものもあるが，その多くは揚縄中に幹縄の応力を超える張力が加えられることによって生ずるものと考えられる。

揚縄中に幹縄にかゝる張力の大きさは，漁船の大きさ，操船者の対応技術，海況など不測の要因によって影響を受けるので，非常に大きな変動をもつものと考えられ，従来行なわれた研究調査の例[1),2)]では，120 kgw 程度以下とされているが，160 kgw 程度の張力が記録された例[3)]も報告されている。

操業中の揚縄張力の大きさは，上記のような要因に左右されるものとみられるが，その最も直接的，具体的な因子としては，ラインホーラーの捲揚速度とその漁船の進行速度との差によって生ずる量と考えられるべきであろう。すなわち，ラインホーラーの動力効率が充分に大きく，かつ幹縄のラインホーラーの中での slip がなければ，捲揚速度と船速との差によって生ずる距離だけ単位時間当りに伸びて張力を受けることになる。そのとき海中に敷設されている漁具の抵抗は著しく大きいからである。しかし，このときラインホーラーの動力効率や捲揚ローラーと幹縄の摩擦力が海中にある漁具の抵抗よりも小さければ，幹縄は，捲揚げられないで海中に引戻されるか，slip して傷つけられることになる。

したがって，幹縄のラインホーラーとの摩擦力は，操業が円滑に行われためには出来うる限り大きいことがのぞましいし，摩擦係数や摩擦力がどの程度であるかを承知した上で操業が行われることが，操業性能を高める上で必要である。

本多[4)]は綿およびビニロンの幹縄について摩擦係数の測定と耐摩性に関する実験を行ったが，この実験はラインホーラーとの摩擦力の推定を目的とした実験ではなかった。著者らは上記の目的から，現在最も普通に用いられている素材，構成の幹縄ロープ6種類と，将来有用と目され，既に照洋丸において試験的に使用された[5)]ことのある 8 closs ロープの計7種の材料につき摩擦係数を測定し，その結果を用いて揚縄時のラインホーラーによる幹縄の捲揚張力を推定した。

この研究を行うに際し，材料の手配その他に関し御協力いただいた元国産製麻株式会社及び同社技術部長日向義孝氏に厚くお礼申し上げる。

2. 実験材料および方法

2.1 実験材料

実験に使用した幹縄用ロープは表1に示す7種で，直径 6～7 mm 程度，ビニロン，ポリエステル繊維とこれらを混撚若しくは包撚した 3×3 打ロープである。ただし標本番号7の幹縄ロープは，PP のフラットタイプ 3000 D/F の8クロスロープで中心に鉛心が封入され，見掛け比重が 1.3 程度に調整されたものである。

これらの標本のうち，標本番号3および6が所謂包撚ロープであり，標本番号5はいわゆる混撚ロープである。これらの標本は何れも無染であるが，標本番号7の PP 8クロスロープだけは，既に照洋丸による著者等の

* 水産工学研究所 漁業生産工学部
** 三重県工業技術センター

表1 実験材料
Specififfications of sample lines

標本番号	ロープの構成	規格直径	備考
1	(ビニロン スパンヤーン 20′s×60)×3×3	6.8	スパン糸タイプ 3×3打
2	(ポリエステル スパンヤーン 5′s×17)×3×3	7.3	スパン糸タイプ 3×3打
3	(ポリエステル スパンヤーン 22′s×33 ナイロンマルチ ヒラメント 1260 d× 6)×3×3	6.5	包撚タイプ 3×3打
4	[ポリエステル マルチヒラメント (1500 d×10 1000 d× 2 1100 d× 1)]×3×3	6.5	ヒラメントタイプ 3×3打
5	(ポリエステル マルチヒラメント 1000 d× 6 ポリエステル モノヒラメント 3000 d× 4)×3×3	6.2	混撚タイプ 3×3打
6	(ポリエステル マルチヒラメント 1000 d×11 ポリエチレン マルチヒラメント 2000 d× 3)×3×3	6.7	包撚タイプ 3×3打
7	(ポリプロピレンフラットタイプモノヒラメント 2000 d×7 鉛芯入り)×2×4	6.3(7.5)	ダンラインタイプ8クロス

表2 各試料標本の検撚結果
Resultant from twist testing (原長 L_0=50 cm)

標本番号	D_1 cm	N_1	L_1 cm	D_2 cm	N_2	L_2 cm	α_1	α_2	備考
1	0.65	24.3	58.0	0.339	73.4	65.5	45.3	57.4	スパン糸タイプ
2	0.65	26.0	59.2	0.407	81.7	68.9	48.9	64.4	スパン糸タイプ
3	0.72	22.1	59.1	0.414	74.6	67.5	45.7	62.7	包撚タイプ
4	0.62	23.4	56.5	0.334	69.5	63.6	43.3	55.6	ヒラメントタイプ
5	0.68	23.1	57.7	0.362	70.5	66.5	44.5	58.1	混撚タイプ
6	0.67	23.1	58.4	0.378	70.8	67.7	46.4	59.7	包撚タイプ
7	0.63								ダンラインタイプ

* D_1, D_2：ロープ直径，複糸平均直径
** N_1, N_2：原長 (50 cm) 間の上撚数，第1次解撚後の平均撚数
*** L_1, L_2：原長 (50 cm)，第1次解撚後の複糸平均長さ

操業試験[3]において使用経験をもつものであり，有機染料ハエタイトが染着されている。なおこの PP 8closs ロープの直径は表1において 6.3 mm となっており，他の標本よりかなり小さいが，これは照洋丸で既に80回程度の鮪延縄操業を経験して細くなったものであり，使用前の直径は 7.5 mm 程度であった。

実験に供される各種ロープの摩擦係数はその撚の硬軟によっても影響を受けるであろうことが考えられるので検撚を行い，撚度を算出した。測定結果を表2に示す。なお，撚度 α は，上撚と中撚について算出したが，それは次式によった。

$$\alpha_1 = tan^{-1}\pi t_1 D_1$$

$$\alpha_2 = tan^{-1}\pi t_2 D_2$$

ここに $\left(t_1=\frac{N_1}{L_1},\ t_2=\frac{N_2}{L_2}\right)$.

ただし，α_1, α_2 は上撚角度，中撚角度，D_1, D_2 はロープ直径，複糸直径；N_1, N_2 は上撚数，中撚数，L_1, L_2 は原長，上撚解撚後の平均複糸長で，測定操返し数はそれぞれ10とした。

2.2 実験装置および方法

実験に使用した摩擦係数測定装置を図1に示す。アーム枠 (9) に固定したロードセルに試験ロープの一端を結び水槽(1)中でモーター(23)軸を介して回転する回転円筒の下側をまわしてローラー(10)，(11)を経てその他端に重錘を結び荷重する。

実験中，試料に加わる張力はロードセルから strain amp. をとうし，ペン書オシログラフに記録されるゲージ

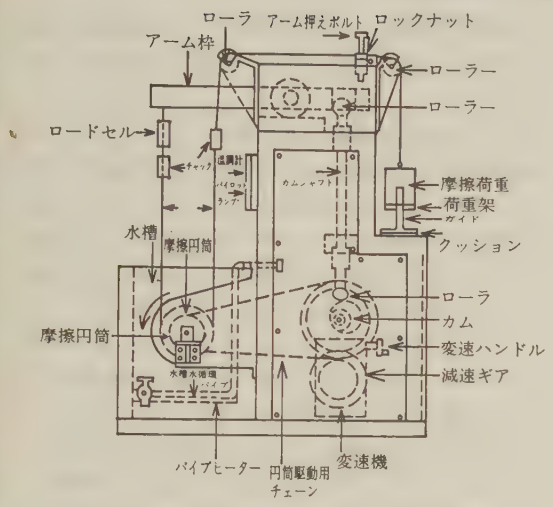


図 1　摩擦係数測定実験装置

Experimental apparatus for measuring frictional coefficients between sample ropes and rollers

(1) Water tank 水槽
(2) Frictional cylinder 摩擦円筒
(3) Sample 試料
(4) Chuck チャック
(5) Load cell 荷重変換器
(6) Pipe heater パイピヒーター
(7) Water circulating pipe 水槽水循環パイプ
(8) Counter 計数器
(9) Arm frame アーム枠
(10) Roller ローラー
(11) Roller ローラー
(12) Weight 摩擦荷重
(13) Weight holder 荷重架
(14) Guide ガイド
(15) Cushion クッション
(16) Transmission 変速機
(17) Transmissive handle 変速ハンドル
(18) Cam カム
(19) Roller ローラー
(20) Cam shaft カムシャフト
(21) Roller ローラー
(22) Cylinder driving chain 円筒駆動用チェーン
(23) Reduction gear 減速ギア
(24) Thermostat 温調計
(25) Pilot lamp パイロットランプ
(26) Arm holding bollt アーム押えボルト
(27) Lock nut ロックナット
(28) Flooding hole 注水口
(29) Sucking hole 吸水口
(30) Drain bulb 排水バルブ

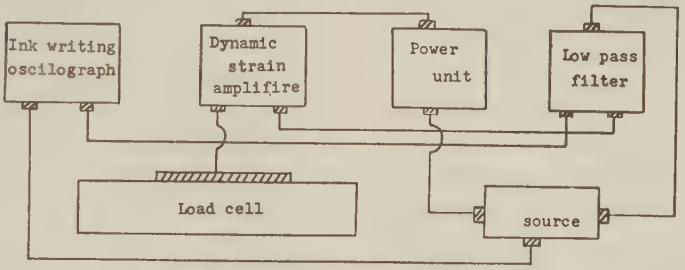


図 2　摩擦係数測定系のブロックダイヤグラム

Block diagram of the experimental apparatus

の歪量からの抵抗変換量から計算によって求めた。これらの測定系のブロックダイヤグラムを図2に示す。図にみられるように試験ロープと回転円筒との接触角はπであるので，摩擦係数μを次式によって求めた。

$$\log T - \log W = 0.434\pi\mu$$

ただし，Tはロープにかゝる張力，Wは荷重である。本装置の水槽には水の循環機構，攪拌機構，サーモスタットなどによる温調機能があり，実験中の水温は22℃±1℃に保持した。

回転円筒は無段変速のモーターによって 10～30 rpm の範囲で自由に回転速度を選択出来るが，本実験の場合は，摩擦線速度を 12.6 cm/sec，17.3 cm/sec，22.8 cm/sec の3水準に採って実験をした。予備的に行った摩擦速度と歪量との関係は図3に示すようであった。

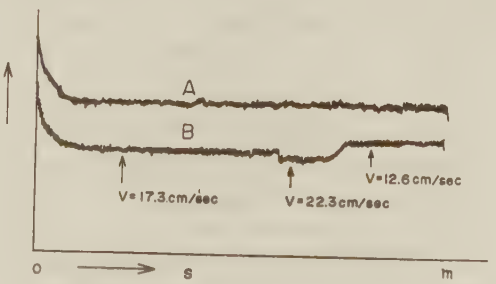


図 3　摩擦線速度の変化に対するロードセル歪量の変動例

An illustration of fluctuated strain by means of frictional velocity

また，摩擦係数は荷重の大きさによって変化するとも考えられたので，3 kgw，5 kgw，10 kgw の3水準を

採った。水槽内の回転円筒は直径 15 cm，長さ 60 cm で，水槽内への取付交換が可能である。その表面がゴム，メタル，グラインダーのそれぞれのライニングを施した三様のものがあり，必要に応じて交換して実験を行う。今回行った実験は，実験の目的からしてゴムライニング円筒とメタルライニング円筒の両者を用いて行った。円筒にライニングされたゴムは合成ゴムでスプリング硬さ90という規格のものであり，メタルは鋼管に厚さ 30 μ の Ni メッキを施したものである。

なお，各種のロープの各設定水準別の実験における繰返しは何れも3回とし，その平均をもって測定値とした。

3. 実験結果と考察

3.1 摩擦線速度，摩擦荷重と摩擦係数の関係

延縄漁具の幹縄がその使用中に摩損するのは，一つには揚縄中にラインホーラーのローラー類と摩擦することによるものであるが，摩擦される限りにおいては動いているのであり，それらとの間に slip を生じていることは間違いないであろう。その slip がどの程度の速度でおこっているかを明らかにすることは困難である。そこで slip はいろいろな速度でおこっているものと仮定し，逆に回転円筒のいろいろな速度に対する摩擦係数を測定し，種々の速さで slip がおこる場合の摩擦係数 μ をしらべてみた。

回転円筒の回転速度を変化させることによって，所定の摩擦線速度 v を設定し，その速度の下で記録が安定するのを待って歪変換量を読みとり，μ の値を得た。このとき摩擦荷重はメタルとの摩擦では，5 kgw と 10 kgw の，またゴムとの摩擦では 3 kgw と 5 kgw の各2水準をとった。それぞれの場合における各標本試料のメタルローラーとの摩擦における μ と v との関係を図4—A，図4—B に，ゴムライニングローラーとの摩擦における μ と v の関係をそれぞれ図5—A，図5—B に示す。

荷重を上記のようにとったのは，実験に使用したロードセルの capacity が 50 kgw であったため，摩擦力下がこの capacity を超えることをおそれたためである。実際の操業条件を考えるともう少し大きい荷重の方が望ましいかも知れない。

これらの図から明らかなように，メタルローラーと幹縄との間の μ は 20～30 cm/sec 程度，ゴムローラーとの間の μ は 25～30 cm/sec 程度までは速度の増大と共に減少するが，それ以降では略一定の値をとるようにな

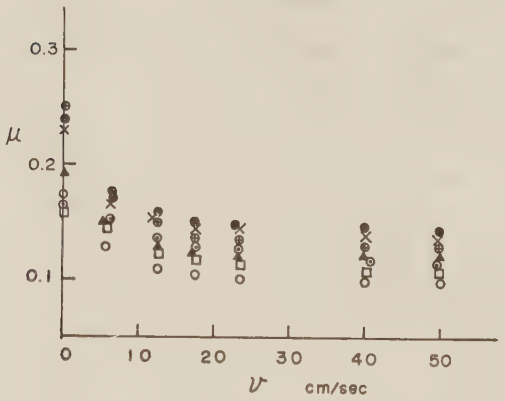


図 4-A　w＝5 kgw の摩擦荷重下における試料とメタルローラーとの間の μ と v の関係

Relationship between μ and v undur 5kgw of experimental load on the samples

⊕ : Vinylon spun yarn rope
× : Polyesster spun yarn rope
● : Polyester spum yarn / Nylon multi-filament > rope
⊙ : Polyester multi-filament rope
▲ : Polyester multi-filameat / Polyester mono-filament > rope
□ : Polyeter multi-filamemt / Polypropylene multi-filament > rope
○ : Polypropylene-flat type mono-filament rope

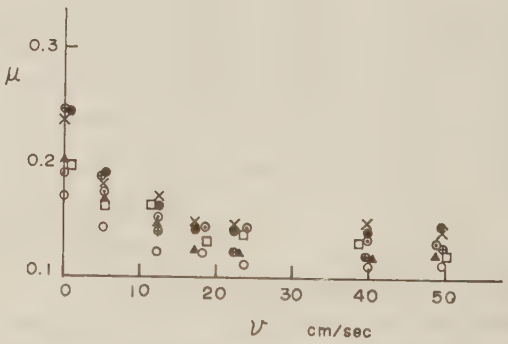


図 4-B　W＝10 kgw の摩擦荷重下における試料とメタルローラーとの間の μ と v の関係

Relationship between μ and v under 10 kgw of experimental load on the samples

⊕ : Vinylon spum yarn rope
× : Polyester spun yars rope
● : Polyester spum yarn / Nylon mult-filament > rope
⊙ : Polyester multi-filament rope
▲ : Polyester multi-filameat / Polyester mono-filament > rope
□ : Polyester multi-filament / Polypropylen multi-filamenf > rope
○ : Polypropylene-flat type mono-filament rope

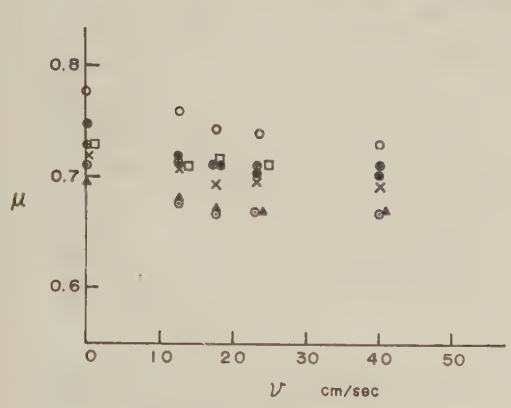


図 5-A ゴムローラーと幹縄ロープとの摩擦におけるμとvとの関係 (w=3 kgw)

Ralationshlp between μ and v under 3 kgw of experimental load on the samples

⊕ : Vinylon spum yarm rope
× : Polyester spun yarn rope
● : Polyester spun yarn / Nylon multi-filament > rope
⊙ : Polyester multi-filament rope
▲ : Polyester multi-filameat / Polyester mono-filament > rope
□ : Polyester multi-filament / Polypropylene multi-filament > rope
○ : Polypropylene flat type mono filament rope

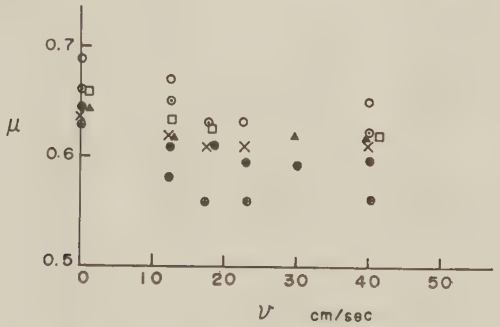


図 5-B ゴムローラーと幹縄ロープとの摩擦におけるμとvとの関係 (W=5 kgw)

Relationship between μ and v under 5 kgw of experimental load on the samples

⊕ : Vinylon spun yarn rope
× : Polyester spun yarn rope
● : Polyester spun yarn / Nylon multi-filament > rope
⊙ : Polyester multi-filament rope
▲ : Polyester multi-filameat / Polyester mono-filament > rope
□ : Polyester multi-filament / Polypropylene multi-filament > rope
○ : Polypropylene-flat type mono-filament nope

るといえる。摩擦の初期速度の μ とその収斂線付近の μ の差はゴムローラーでは 10％程度であるが，メタルローラーでは以外に大きく，その差異は 50～60％にも達することが知られる。

3.2 摩擦量 S と摩擦係数 μ との関係

幹縄ロープは摩擦の進行につれて除々に摩損を来し，その接触面の性状や摩擦物体との接触状態に変化を生ずるであろう。したがって一般にトワインやロープのような完全剛体ではない撚構造物体は摩擦の進行につれて刻々と摩擦力 F や摩擦係数 μ の変化をおこすのが常である[5]。

幹縄ロープについての本実験でも，図6，7にみられるように摩擦の進行に伴って，μ は指数函数的な減少をみせる。前項で示されたように，μ の値は摩擦速度 v によって或程度の差異があるので，ここでは v による μ の変化が一応の落着きを示す 17.8 cm/sec における μ と S の関係をとった。

図に示されるように，メタルライニングローラーとの摩擦においても，ゴムライニングローラーとの摩擦においても，μ は静止摩擦から動摩擦に移る過程において急激に減少し，その減少割合は S=10 cm 位までの間に著しい。しかし，標本 No. 7（PP. ポリプロピレン芯入りロープ）だけは μ の減少傾向を異にし，静止摩擦から動摩擦に移ると殆んど同時に μ は著しく低下し，以後の摩擦においては余り変動がなかった。

μ の値が略々一定する段階でみると，メタルローラーとの摩擦では，μ の値は凡そ 0.10～0.13 の間にあって，荷重の大きい場合に若干高い値を示すかにみえるが余り大きな差異はなく，標本種類別では No. 1～3 の所謂スパン系ロープの μ の値はヒラメント系ロープ（標本 No. 4～7）よりも大きい傾向にある。

ゴムライニングローラーとの摩擦でも，摩擦過程における μ の変化の傾向はメタルラインニングローラーとの摩擦の場合とほぼ同様であるが，荷重の量が大きい（W=5 kgw）場合は μ の値は可成り明瞭に小さくなっており，その範囲は W=3 kgw の場合に 凡そ 0.68～0.73 であるのに対し，W=5 kgw の場合には 0.57～0.65 である。そして標本種別にみるとこの場合には標本 No. 4～7 の所謂ヒラメント系ロープの μ の値が大きく，No. 1～No. 3 のスパン糸系のロープの μ の値が小さくなっているのが特徴的である。

3.3 考　　察

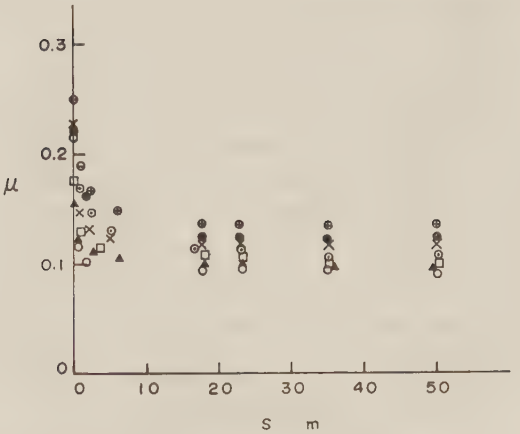


図 6-A メタルローラーと幹縄ロープとの摩擦における μ と S との関係

Relationship betweem μ and S under 5 kgw of experimental load on the samples

⊕ : Vinylon spun yarn rope
× : Polyester spun yarn rope
● : Polyester spun yarn / Nylon multi-filament > rope
⊙ : Polyester multi-filament rope
▲ : Polyestester multi-filament / Polyester mono-filament > rope
□ : Polyester multi-filament / Polypropylene multi-filament > rope
○ : Polypropylene flat type mono-filament rope

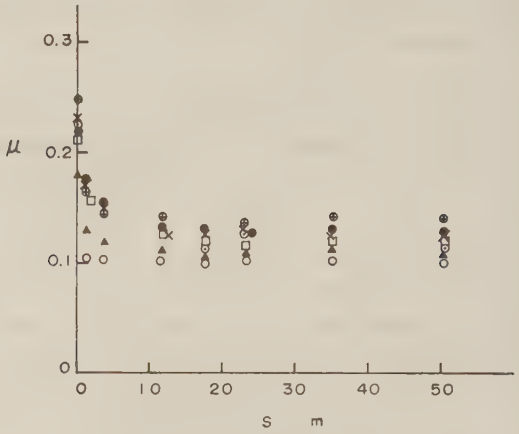


図 6-B メタルローラーと幹縄ロープとの摩擦における μ と S との関係（W＝10 kgw）

Relationship letween μ and S under 10 kgw of experimental load on the samples

⊕ : Vinylon spun yarn rope
× : Polyester spun yarn rope
● : Polyester spun yarn / Nylon multi-filament > rope
⊙ : Polyester multi-filament rope
▲ : Polyester multi-filameat / Polyester mono-filament > rope
□ : Polyester multi-filament / polypropylene multi-filament > rope
○ : Polypropylene flat type mono-filament rope

図6—A より図7—B までの各標本の μ の値は，一般的には摩擦初期に高く，摩擦量が増大するにつれて一定値に収斂するような傾向をみせたが，標本 No. 7 のみは，静止摩擦から動摩擦に移った瞬間より殆んど変化がないという点が他の標本ロープと異なる。

標本 No. 1～No. 6 のロープは総て新らしく未使用のロープであるため，おそらく摩擦によって撚山がつぶれて平担な形になっていく過程の中で摩擦係数が小さくなり，接触面におけるロープの凹凸の度が一定になることによって一定の μ の値に収斂していくものと考えられる。しかし，標本 No. 7 の PP モノヒラメント糸ロープは，先にも述べたように昭和41年から44年まで照洋丸における延縄操業試験において使用経験をもったロープであり，既に初期摩耗を経て一定の表面形状に安定した後の材料であることから，同じ摩擦過程を受けながらこれらとは異った形の μ の変化をしたものとおもわれる。

また，これら7種の標本ロープの，メタルラインニングローラーとの摩擦において，スパン糸系ロープの μ はヒラメント系ロープの μ よりも大きく，ゴムライニングローラーとの摩擦においては逆にヒラメント系ロープの μ の方が大きいという傾向がみられた。

このことが単なる偶然であるか否かについて，今回の実験データは，これを明かにすることが出来る程微密な実験計画に基いて得られたものではないが，計測されたデータを用いて凡その見当をつけてみる。先づ，試料標本の材料的性格を分つ主要因として考えられるものは，素材繊維の種類・形態，ロープの編組構成，各編組構成段階における撚角度であるが，ここでこれらの因子と μ との関係を個々に細かく分析することは容易ではない。これらの因子が結果として μ に影響を及ぼすのは繊維素材の種類とロープとしての表面形態ならびに硬さであろう。7種標本ロープの繊維中の No. 7 を除いて他はポリエステル繊維が殆んど表面を覆う構造とみてよいので，μ に影響を与える主要素としてこの際は撚角度ならびにロープの硬さと μ との関係についてみることにする。撚角度の中でロープの性状に大きな支配力をもつものは上撚と中撚と考えられる* が，一般に上撚と中撚とは略々

* 上撚，中撚，下撚と3段階の撚があるが，下撚には1m当3～5回の撚数で極めて少ないのでこれを無視する。

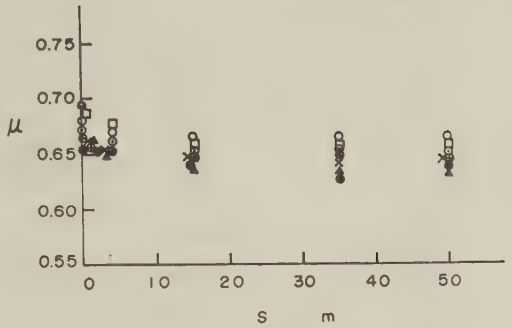


図 7-A ゴムライニングローラーとの摩擦における μ と S との関係 (W=3 kgw)

Relatonship betweon μ and S under 3 kgw of experimental load on the the samples

⊕ : Vinylon spun yarn rope
× : Polyester spun yarn rope
● : Polyester spun / Nylon multi-filament 〉rope
⊙ : Polyester multi-filament rope
▲ : Polyester multi-filameat / Polyester mono-filament 〉rope
□ : Polyester multi-filament / Polypropylene multi-filament 〉rope
○ : Polypropylene flat type mono-filament rope

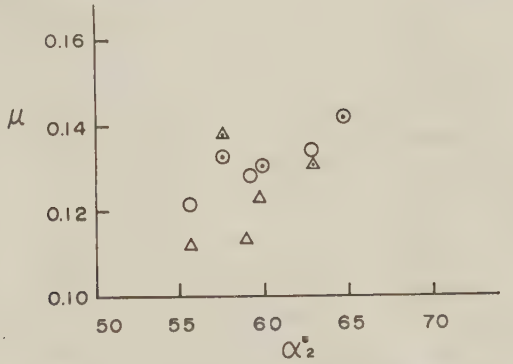


図 8-A メタルラインニングローラーとの摩擦における撚角度 α_2 と μ との関係

Relationship between α_2 and μ under 5 kgw of experimental load

⊙ : スパン糸系ロープ (標本 No. 1, 2, 3), W=5 kgw
○ : マルチヒラメント系ロープ (標本 No. 4, 5, 6), W=5 kgw
◭ : スパン糸系ロープ (標本 No. 1, 2, 3), W=10 kgw
△ : マルチヒラメント系ロープ (標本 No. 4, 5, 6), W=10 kgw

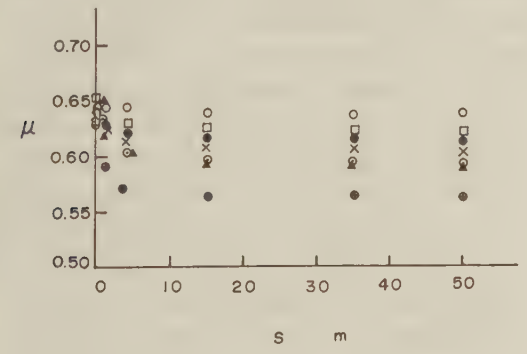


図 7-B ゴムライニングローラーとの摩擦における μ と S との関係 (W=5 kgw)

Relationship between μ and S undor 5 kgw of experimental load on the equipment

⊕ : Vinylon spun yarn rope
× : Polyester spun yarn rope
● : Polyester spun yarn / Nylon multi-filament 〉rope
⊙ : Polyester multi-filament rope
▲ : Polyester multi-filameat / Polyester mono-filament 〉rope
□ : Polyester multi-filament / Polypropylene multi-filament 〉rope
○ : Polypropylene flat type mono-filament rope

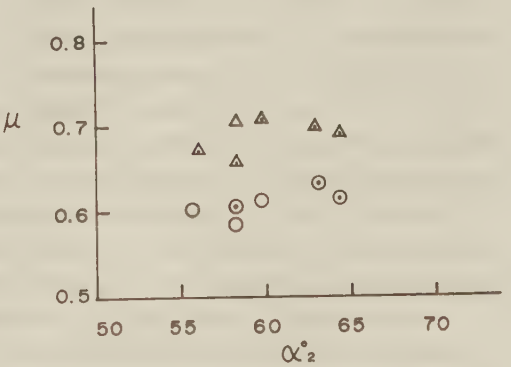


図 8-B ゴムライニングローラーとの摩擦における撚角度 α_2 と μ の関係

Relationship between α_2 and μ under 5 kgw of experimental load

⊙ : スパン糸系ロープ (標本 No. 1, 2, 3), W=5 kgw
○ : マルチヒラメント系ロープ (標本 No. 4, 5, 6), W=5 kgw
◭ : スパン糸系ロープ (標本 No. 1, 2, 3), W=3 kgw
△ : マルチヒラメント系ロープ (標本 No. 4, 5, 6), W=3 kgw

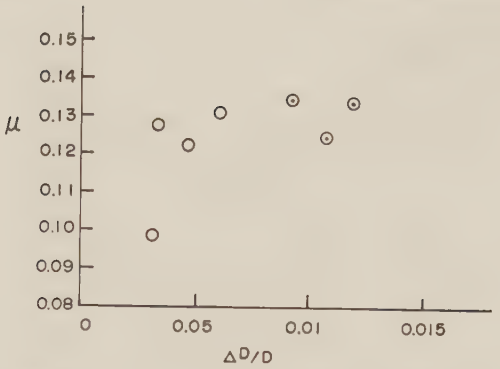


図 9-A メタルライニングローラーとの摩擦における $\Delta D/D$ と μ の関係

Relationship letween μ and $\Delta D/D$ under 5 kgw of experimettal load

⊙：スパン糸系ロープ（標本 No. 1, 2, 3），W＝5 kgw

○：マルチヒラメント系ロープ（標本 No, No. 4, 5, 6），W＝5 kgw

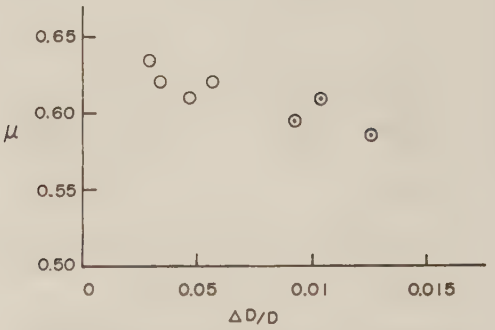


図 9-B ゴムライニングローラーとの摩擦における $\Delta D/D$ と μ との関係

Relationship between $\Delta D/D$ amd μ under 5 kgw of experimental load

⊙：スパン糸系ロープ（標本 No. 1, 2, 3），W＝5 kgw

○：マルチヒラメント系ロープ（標本 No. 4, 5, 6），W＝5 kgw

釣合うように加撚されるものであり，普通には中撚を中心とし，これに釣合う上撚がかけられる。本実験の諸標本も上撚はほぼ中撚に見合った数になっているようにみえるので，一応中撚を撚度の測度にとることにする。

各標本について表2の α_2 と，値が安定平衡する S＝17.5 m 点における図6—A, B および図7—A, B の μ と α_2 の関係をプロットすると，対摩擦物体別に図8—A および図8—B を得る。図8—A は荷重別に対メタリックライニングローラー摩擦における α_2 と μ の関係を示すものであるが，W＝5 kgw，W＝10 kgw の場合共撚角度の大きいものは大きな μ をもつ傾向がみられる。しかし，ゴムライニングローラーとの摩擦では，μ の値は本実験の撚度の範囲内では撚度の大小によって殆んど増減の傾向がみられないようである。

ロープの硬さの測度法には評価の確定したものが現在のところ存在しない。そこで，極く手軽な方法として，ロープを硬く平担な台の上におき，これに一定の圧力kgw/cm をかけて直径の変化 ΔD を測定し，これと元の直径 D との比をもって硬さの測度とし，$\Delta D/D$ と W＝5 kgw における μ との関係をプロットした。図9—A，図9—B にその結果を示す。なお圧力は 2.5 kgw/cm とした。図によると対メタルライニングローラー摩擦では $\Delta D/D$ の大きいものは μ の値も大きい傾向がみられ，対ゴムライニングローラー摩擦では逆に $\Delta D/D$ の小さいものが μ の値が大きい傾向にある。

以上を敷衍すると，スパン糸系ロープでは対メタルライニングローラー摩擦においてヒラメント系ロープよりも μ の値が大きいという傾向がみられたが，それはこれら前者のロープの撚角度（α_2）が後者のそれよりも大きく，$\Delta D/D$ も大きいという傾向にあることによるのであろう。このことは，この種のロープは撚りによるロープの凹凸度が比較的著しく，かつ圧力による形態変化が比較的大きい（比較的柔い）という傾向にあり，そのようなロープの μ が対メタルライニングドラム摩擦では大きかったということを意味している。また対ゴムライニングローラー摩擦では撚角度（α_2）の大小が μ の値の大小に傾向を与えるという様子はみられなかったのに対して，$\Delta D/D$ の大きなもの，即ち圧力で凹み易いものは μ が小さく，$\Delta D/D$ の小さいもの，即ち硬くて凹み難いものは μ が大きいという傾向になることを示すものであろう。

而して，幹縄ロープのこの様な傾向がいかなる理由に起因するものかは今後に残される課題である。

4. ラインホーラーの揚縄可能張力の推定

4.1 推定値の算出

鮪延縄の揚縄機であるラインホーラーで幹縄を捲揚げる際の動力 PS 馬力は，T kgw の張力を受けながら v m/sec の速さで捲き揚げるとき，

$$PS=\frac{T}{75}v$$

である。今回実験に使用された直径 6～7 mm 程度の幹縄を使用する近海，遠洋鮪延縄漁船では通常 5～15 PS の動力をもつラインホーラーを搭載している。これらの

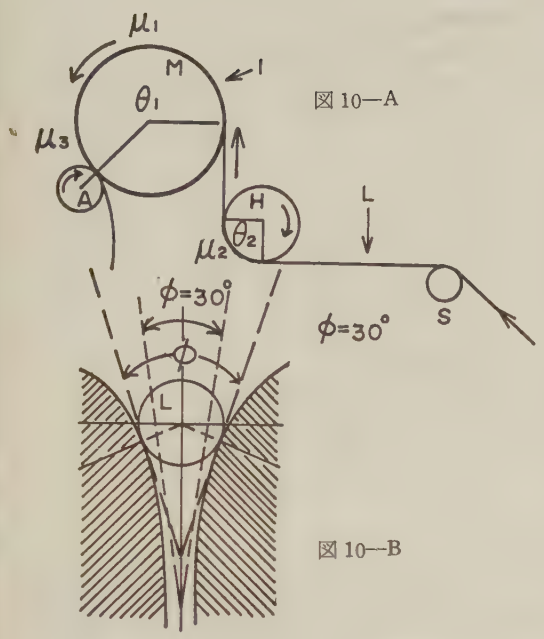


図 10—A

図 10—B

図 10　ラインホーラーによる揚縄における幹縄とローラー類の接触機構

Contacting behevior of a line with the rollers of a line-hauler durring hauling operation

S：サイドローラー (side roller)，H：曳きローラー (hauling roller)，M：捲ローラー (main roller)，A：押ローラー (pressing rollor)，L：幹縄 (main line)

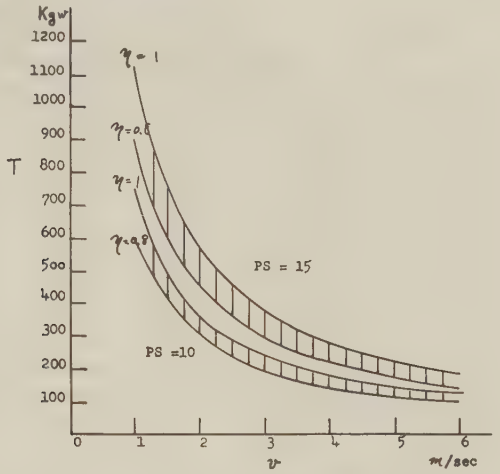


図 11　ラインホーラーの捲揚速度と張力との関係

Relationship between hauling velocity and the tention on a line hauler

ラインホーラーの揚縄機構は図10に示す如くであるが，このような関係で幹縄が捲揚げられるためには図10—Aに示すように幹縄が揚って来る過程における A，M，H などのローラーと幹縄との間の摩擦力の総和 F が $T=75PS/v$ を下廻らない値を持つことが必要である。

図10—A に示す揚揚過程で幹縄 L が M と接触する角度を θ_1，そのときの両者間の摩擦係数を μ_1 とし，H との接触角と摩擦係数をそれぞれ θ_2，μ_2 とし，A との摩擦係数を μ_3 とすると，サイドローラー S の効率が η であるとき，ラインホーラーのローラー類が幹縄の張力に耐えてスリップしないための摩擦力 F は

$$\log_{10}\frac{F}{\eta(\mu_1+\mu_3)P}=0.434(\mu_1\theta_1+\mu_2\theta_2)\quad\cdots\cdots(1)$$

である[6]。ここで μ_1 と μ_3 とは共にゴムライニングローラーとの関の摩擦係数であるから $\mu_1=\mu_3$ とみると，(1)式は次のようになる。

$$F=2\eta\mu_1 P\times 10^{0.434(\mu_1\theta_1+\mu_2\theta_2)}\quad\cdots\cdots(2)$$

但し，ここで μ_2 は H と延縄ロープの摩擦係数であって，実験で得られたメタルローラーとロープとの摩擦係数を μ'_2 とすると，図10—B に示す摩擦機構により，

$$\mu_2=\frac{\mu'_2}{\sin\frac{\phi}{2}+\mu'_2\cos\frac{\phi}{2}}\quad\cdots\cdots(3)$$

として求められる値である[6]。P は図10—A の A ローラー押圧力で，スプリング機構によって作動前に調節されることが出来る量で，普通には 10～15 kgw といわれるが，近海操業の中型船では 5～10 kgw ともいわれる。η はサイドローラー S の回転の円滑さに左右される量で，注油などの手入が行届いていれば普通は0.8～1.0の値をとるものといわれる[6]。これらの量と摩擦係数とから F を試算した。なお，図10—A の幹縄と H ローラーならびに M ローラーとの接触角 θ_2，θ_1 はそれぞれ $\theta_2=85°$，$\theta_1=230°$ とした。

(2)式から明かであるが，F の大きさは，ラインホーラーの操作上調節容易な P の値に大きく左右される。H ローラーとの摩擦力には図10—B に図示されるローラーの中溝に幹縄がはさまっている部分での溝がもつ角度 ϕ の大きさが影響力をもつ。溝の直線部分の角度は図に示すように普通 25°～30° につくられているが，ローラーの外線部では外拡がりになっていて接点での角度は幹縄の太さでも変ってくる。しかし溝の底の幅は 4 mm 程度で，その幅は調節可能であるが，ロープが溝に喰い込みすぎると H ローラーから M ローラーへの幹縄の転送にトラブルが生じることが多く，実際には 30° 以上の点で用いられることが多いものと考えられる。そこで F

表 3 ラインホーラーの捲揚力の推定に用いた摩擦係数
Coffieient of friction used for the estimation of hauling force by line hauler

標本 No.	$\mu_{1.0}$	$\mu_{1.13}$	$\mu_{1.17.8}$	$\mu_{1.50}$	$\mu'_{2.0}$	$\mu'_{2.3}$	$\mu'_{2.17.8}$	$\mu'_{2.50}$
1	0.63	0.62	0.57	0.57	0.25	0.19	0.14	0.14
2	0.64	0.63	0.61	0.59	0.23	0.15	0.14	0.12
3	0.64	0.63	0.61	0.60	0.23	0.15	0.15	0.13
4	0.65	0.65	0.63	0.60	0.19	0.16	0.13	0.11
5	0.64	0.64	0.62	0.62	0.18	0.13	0.12	0.10
6	0.66	0.65	0.63	0.63	0.19	0.13	0.12	0.10
7	0.67	0.67	0.65	0.64	0.20	0.10	0.10	0.09

(註) $\mu_{1.0}$, $\mu'_{2.0}$ ：ゴムローラー，メタルローラーと標本との静止摩擦係数
$\mu_{1.3}$, $\mu'_{2.3}$ ：ゴムローラー，メタルローラーと標本との $v=3$ cm/sec における摩擦係数
$\mu_{1.17.8}$, $\mu'_{2.17.8}$：ゴムローラー，メタルローラーと標本との $v=17.8$ cm/sec における摩擦係数
$\mu_{1.50}$, $\mu'_{2.50}$ ：ゴムローラーとメタルローラーローラーと標本との $v=17.8$ cm, $S=50$ cm における摩擦係数

の試算には $\phi=30°$ と $\phi=45°$ との場合を採った。多くはこの中間におちるものとおもわれる。

ゴムローラー及びメタルローラーの摩擦係数を $\mu_1=\mu_3$ ならびに μ'_2 として種々の速度における代表的な摩擦係数を表3に整理し，これを用いてFを試算した結果は表4に示すとうりである。当然のこと乍ら F は P に比例するので，P=15 における F の値は P=5 の値のほぼ3倍になっている。

$\phi=45°$ における F の値は $\phi=30°$ のときより小さくなっており，静止摩擦状態における F は動摩擦状態における F より 50％ 程度大きいようである。

標本間では所謂ヒラメント系ロープの方が，スパン系系ロープより大きい傾向がみられるのは予想外の結果である。

4.2 考　　察

ラインホーラーのローラー (H, M, A) と標本ロープの間の摩擦係数はメタルローラーとの間の μ ではスパン系系のロープの方がマルチヒラメント系のロープより高い値をもち，ゴムローラーとの間の μ ($\mu_1=\mu_3$) では逆にマルチヒラメント系のロープの方が高い値をもつ傾向にあるが，これらを用いてラインホーラーのローラーとロープとの総摩擦力 F を試算してみると，F の値は全体としてマルチヒラメント系のロープの方が大きな値をもつ傾向にあることが，表4より明かである。両者の μ_2 における差異は，μ_1 の差異に較べて可成り大きいのに，このような結果になるのは，(2)式にみられるように $\mu_1+\mu_3\fallingdotseq 2\mu_1>1$ であることから，リニアに効いて来ることによるものであろう。

ラインホーラーによる幹縄の揚縄中，幹縄は動力による諸ローラー (H, M, A) の回転にしたがって，その線速度と常に同じ速さで揚っているとは限らないであろう。両者の線速度間に差異があるからこそ，幹縄はその揚業過程で摩耗して来て毛羽立ちを生じ，遂には使用に耐えなくなることは衆目の一致するところである。これが幹縄のスリップで，その速度も種々多様であることは想像に難くない。そして，その速度の存在範囲を推定することは容易でないが，本研究では種々の実験速度における μ の測定の中から $v=3$ cm/sec と $v=17.8$ cm/sec との場合について比較的摩擦量の少ないときのFを算出した。v_0, v_3, $v_{17.8}$ のときの F のそれぞれの値 F_0, F_1, F_2 の間の差は凡そそれぞれ 10～20％ と 5～10％ である。実際の操業でスリップが全くなくして揚縄されることは考え難く，17.8 cm/sec 程もの速さのスリップで揚縄されることも多くはないだろうと考えられるので，ロープの比較的新らしいときはPのと ϕ の値の範囲内における F_1～F_2 の範囲の摩擦力で揚縄されている可能性が大きいと考えられる。また，F の中で F_3 は $F_3<F_2<F_1$ の位置にあるが，これは摩擦量が多く，摩擦速度が大きい場合の摩擦力である。摩擦量を多く受けたものは当然ロープ表面が摩耗し，撚山が低くなって μ が小さくなる傾向があることは表3より明かで，このためにこのような結果になるものと考えられる。

摩擦力のロープの形態の外に素材繊維自体の性質にも影響される筈であり，今回の実験では各標本間の F の分析は出来なかった。

前項で述べたように，ロープの直径が大きくなると，ロープは H ローラーの外線部の溝に比較的大きな角度で接触することになるが，(3)式の ϕ が大きくなることとなり，$\sin\frac{\phi}{2}+\mu\cos\frac{\phi}{2}$ が大きくなるので結果として μ_2 が小さくなるためにFが小さくなることになる。それは

表 4　摩擦係数から推定される揚縄可能張力(F)　(単位：kgw)

Hauling force estimated from the coefficient of friction and others

ϕ	標本番号	P=5 (kg·w)				P=10 (kg·w)				P=15			
		F_0	F_1	F_2	F_3	F_0	F_1	F_2	F_3	F_0	F_1	F_2	F_3
$\phi=30°$	1	153	125	85	85	302	250	170	170	458	375	256	256
	2	152	127	107	90	303	254	214	180	455	381	321	271
	3	152	127	110	98	303	254	219	187	455	381	329	295
	4	150	140	119	101	301	281	237	201	451	421	356	302
	5	138	123	106	102	276	246	213	203	415	369	319	305
	6	156	131	116	108	312	262	232	216	469	393	347	324
	7	170	135	120	110	340	270	239	220	510	405	359	329
$\phi=45°$	1	133	111	76	76	265	223	152	152	399	334	228	228
	2	132	111	95	80	264	221	191	160	396	332	286	240
	3	132	111	98	88	264	221	195	175	396	332	293	263
	4	131	122	106	84	262	245	211	167	393	367	317	251
	5	120	110	97	93	241	220	194	185	361	329	291	278
	6	139	117	103	99	279	233	206	197	418	350	310	296
	7	145	120	114	100	289	241	228	200	434	361	342	300

(註)　F_0：静止摩擦係数 $\mu_{1.0}$, $\mu_{2.0}$ による摩擦力推定値，ただし，$\mu_{2.0}$ 等は $\mu'_{2.0}$ 等より(3)式による換算値
F_1：$\mu_{1.1}$, $\mu_{2.1}$ による摩擦力推定値，ただし，$\mu_{2.1}$ 等は $\mu'_{2.1}$ 等より(3)式による換算値
F_2：$\mu_{1.17.8}$, $\mu_{2.17.8}$ による摩擦力推定値，ただし，$\mu_{2.17.8}$ 等は $\mu'_{2.17.8}$ 等より(3)式による換算値
F_3：$\mu_{1.50}$, $\mu_{2.50}$ による摩擦力推定値，ただし，$\mu_{2.50}$ 等は $\mu'_{2.50}$ 等より(3)式による換算値
P：ラインホーラーのローラーの押圧力

表4の値にも明白な事実として示されている。このときは幹縄のスリップを招き，破断事故につながり易い。しかし溝の幅が広過ぎてロープが溝の奥に入り込み過ぎるとロープは溝に喰込んで連続して揚縄できなくなるので，Hローラーの溝幅の調節を適切に行うことが肝要である。

5. 結　　語

鮪延縄の操業においては，その揚縄中幹縄の破断事故はつきもので，この事故の故に操業の能率は著しく低下することを余儀なくされている。この破断事故は揚縄時幹縄にかかる張力が幹縄の引張力を超えるとおこるものであることは勿論であるが，この張力はラインホーラーの動力効率とそのローラー類と幹縄との摩擦力によって支えられるものであるにもかかわらず，未だその摩擦力が試算されたためしがないようである。このことは鮪延縄操業の能率化促進の一つの障害となっている。

それは，過去において摩擦力が推定出来るための摩擦係数の測定が行われていないためであり，著者等はゴムライニングローラーならびにメタルライニングローラーと幹縄用ロープ数種との間の摩擦係数を測定し，これらの値から，現在の鮪漁船で使用される状態におけるラインホーラーのローラー類とロープとの摩擦力を試算した。その結果は表4に示すといりで，諸種の条件によって可成り大きな幅をもつことを知った。

ラインホーラーの動力効率からすると現在の漁船に搭載しているものは図11に示されるようで，10 PS のものでは 3 m/sec の速度で凡そ 200 kgw，15 PS のものでは凡そ 300 kgw の張力までは捲揚げうる能力をもつ。一方これらのラインホーラーの摩擦車と幹縄ロープ間の摩擦力は P=10，P=15 kgw の下では $\phi=30°$ のとき 170 kgw～340 kgw と 256～510 kgw であり，$\phi=45°$ のときは 152～289 kgw，228～434 kgw であるから，P≧15 kgw としておけば殆んどスリップはおこらないものと考えられるが，P を大きくすれば幹縄の傷みははやくなる。基本的にはラインホーラーの捲揚速度と漁船の進行速度を調和させることにより，幹縄の張力を 150 kgw 以下に保って揚縄するようにすることが肝要である。ちなみに，直径 6～7 mm の幹縄ロープの破断応力はどの種のロープでも 350 kgm 以上である。

参考文献

1)　盛田友武：マグロ延縄漁具に関する研究，鹿児島大学水産学部紀要 No. 18, pp. 199～209, 1969.
2)　川上太左英・松田皎：マグロ延縄の切断防止に関する研究―揚縄時に生ずる張力について―，マグロ

延縄漁業省力化の基礎確立に関する研究 中間報告書, pp. 26～35, 1967.
3) 下崎吉矩・矢島信一・田辺定・西尾慶彦・寺下厚・浜田義徳：照洋丸による鮪延縄漁撈合理化の研究一工, 東海水研報告 No. 55, pp. 159～160, 1968.
4) 本多勝司：マグロ延縄の磨耗, 日本水産学会誌 vol. 28(1), pp. 1～4, 1962.
5) 下崎吉矩・加藤春己：長繊維漁網系の摩擦に対する強さ一工, 日本水産学会誌, vol. 24 (10), 1959.
6) 草間秀俊：水産学構座一水産機械一, 大日本水産会, pp. 225～231, 1955.

On the Coefficient of Friction, and the Frictional Force between a Main-line and the Rollers of a Line-hauler

By

Yoshinori Shimozaki Keiichi Fujii and Hajime Taketomi

Summary

A tryal was carried out to get some estimates of the tention on the main line heaved up by a line-hauler during tuna long line opperation, using the data obtained from an experiment on the coefficient of friction between a rubber-lininged roller and a few kinds of sample lines, and also between a metalic roller and the sampl- lines.

Seven kinds of lines have been used in the tuna long line opperation in popular were supplied for the experiment, and the results obtained were as the followings.

1. The coefficients of friction between a metal roller and the sample lines is distributed among 0.1 to 0.3 and coefficients of static friction is greater by twice than those of motive friction.

2. The coefficients of friction between the metal roller and the sample lines are greater in the sample lines composed of spun yarns compared with those of the lines made of filament yarns. And in the other hand, the coefficients of friction between rubber roller and the sample lines are smaller than those of the sample lines that are composed of filament yarns, compared with those of spun yarns.

3. The whole frictional force (F) between the sample lines and the rollers of a line hauler were calcurated using the coefficients of frictions under usual working coditions in pressing force (P) of conpressing roller, cotacting angle (ϕ) with the samle lines on the a heaving roller and various frictional velocities. The resultant values were $170<F<500$ kgw.

水産工学研究所の機構及び所在地

所長	茨城県鹿島郡波崎町海老台	電話 04794(4)4961
庶務課	同上	同上
水産土木工学部	同上	同上
漁船工学部	東京都中央区勝どき 5—5—1	03(531)7741
漁業生産工学部	同上	03(533)2944
勝どき庶務分室	同上	同上

ORGANIZATION OF NATIONAL RESEARCH INSTITUTE OF FISHERIES ENGINEERING FISHERIES AGENCY

Diretor General
Ebidai, Hasaki-machi, Kashima-gun, Ibaraki, Japan

General Administration
do.

Aquaculture and Fishing Port Department
do.

Fishing Boat and Instrument Department
5-1, Kachidoki 5-chome, Chuo-ku, Tokyo, Japan

Fishing Gear and Methods Department
do.

General Administration Kachidoki Branch
do.

水産工学研究所報告　第4号

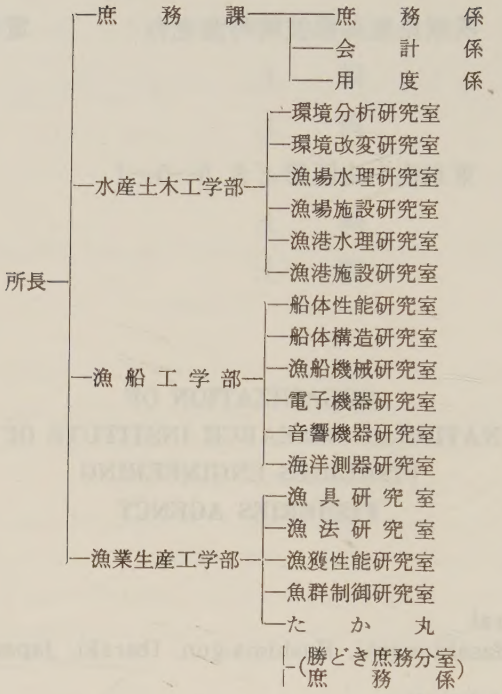
昭和58年3月10日　印刷
昭和58年3月20日　発行

水産庁　水産工学研究所

茨城県鹿島郡波崎町海老台（郵便番号 314—04）

発行者　土屋　孟
印刷所　株式会社　小薬印刷所
印刷者　小薬忠昭

水産工学研究所組織図



NATIONAL RESEARCH INSTITUTE OF FISHERIES ENGINEERING

Director General
- General Administration
- Aquaculture and Fishing Port Engineering Department
  - Environment of Fishing and Harvesting Ground Laboratory
  - Improvement of Fishing and Harvesting Ground Laboratory
  - Hydraulics on Aquaculture Laboratory
  - Facilities for Aquaculture Laboratory
  - Hydraulics on Fishing Port Laboratory
  - Facilities for Fishing Port Laboratory
- Fishing Boat and Instrument Department
  - Ship Performance Laboratory
  - Hull Construction Laboratory
  - Engine and Machinery Laboratory
  - Ocean Electronics Laboratory
  - Underwater Acoustics Laboratory
  - Oceanographic Instrument Laboratory
- Fishing Gear and Methods Department
  - Fishing Gear Laboratory
  - Fishing Methods Laboratory
  - Analysis of Gear and Methods Laboratory
  - Fish Behaviour Control Laboratory